



DE10052914

Patent number: DE10052914
Publication date: 2002-05-16
Inventor: JAEGER STEFFEN (DE)
Applicant: JAEGER STEFFEN (DE)
Classification:
- international: *H01L27/142; H01L31/0352; H01L31/048; H01L31/052; H01L31/18; H01L27/142; H01L31/0248; H01L31/048; H01L31/052; H01L31/18; (IPC1-7): H01L31/0352; H01L31/18*
- european: *H01L27/142; H01L31/0352C2; H01L31/048; H01L31/052B; H01L31/18C*
Application number: DE20001052914 20001025
Priority number(s): DE20001052914 20001025

Also published as:

 WO0237576 (A3)
 WO0237576 (A2)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE10052914

The invention relates to a semi-conductor device having a layered structure consisting of a carrier layer (2) which comprises an electrically conductive carrier material; an insulation layer (4) which is formed by electrically insulating insulation material, is arranged on the carrier layer (2) and contains semiconductor particles; and a covering layer (6) which comprises at least one electrically conductive cover material and is arranged on the insulating layer (4). Each semiconductor particle (1) touches both the carrier layer (2) and the covering layer (6) and forms at least one p-n-junction (3, 5). The insulating material consists of at least one metal oxide compound which at least partially contains an oxide of the carrier material. The invention also relates to methods for producing the inventive semiconductor device.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 52 914 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
H 01 L 31/0352
H 01 L 31/18

⑳ Aktenzeichen: 100 52 914.3
㉔ Anmeldetag: 25. 10. 2000
㉕ Offenlegungstag: 18. 5. 2002

DE 100 52 914 A 1

㉑ Anmelder:
Jäger, Steffen, Dr., 38122 Braunschweig, DE

㉒ Vertreter:
v. Bezold & Sozien, 80799 München

㉓ Erfinder:
gleich Anmelder

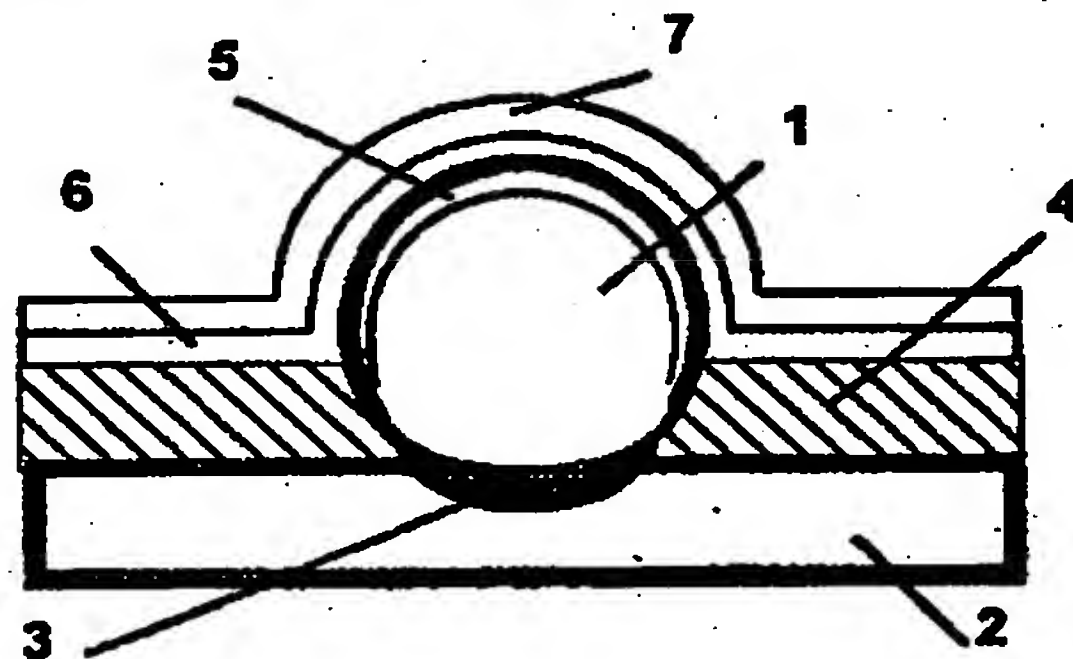
㉔ Entgegenhaltungen:
EP 09 93 050 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Halbleitereinrichtung und Verfahren zu deren Herstellung

⑤⑤ Es wird eine Halbleitereinrichtung mit einem Schichtaufbau aus einer Trägerschicht (2), die ein elektrisch leitfähiges Trägermaterial aufweist, einer Isolationsschicht (4), die durch elektrisch isolierendes Isolationsmaterial gebildet wird, auf der Trägerschicht (2) angeordnet ist und Halbleiterpartikel (1) enthält, und einer Deckschicht (6) beschrieben, die mindestens ein elektrisch leitfähiges Deckmaterial aufweist und auf der Isolationsschicht (4) angeordnet ist, wobei jeder Halbleiterpartikel (1) sowohl die Trägerschicht (2) als auch die Deckschicht (6) berührt und mindestens einen p-n-Übergang (3, 5) bildet und das Isolationsmaterial durch mindestens eine Metalloxydverbindung gebildet wird, die zumindest teilweise ein Oxid des Trägermaterials enthält. Es werden auch Verfahren zur Herstellung der Halbleitereinrichtung beschrieben.



DE 100 52 914 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Halbleitereinrichtung mit den Merkmalen des Oberbegriff von Anspruch 1, insbesondere eine photovoltaische Halbleitereinrichtung, wie z. B. eine Solarzelleneinrichtung, und Verfahren zu deren Herstellung

[0002] Die Photovoltaik stellt eine der wichtigsten und zukunftsreichsten Möglichkeiten zur Nutzung regenerativer Energiequellen dar. Die hohen Gestehungskosten der photovoltaischen Anlagen (insbesondere Solarzelle, Modulherstellung, Integration) wirken sich nach wie vor erschwerend auf einen breiten und konsequenten Durchbruch dieser Technologie aus. Aktueller Schwerpunkt der internationalen Forschung und Entwicklung besteht daher folgerichtig in der Suche nach neuen Wegen zur Kostenreduktion.

[0003] In photovoltaischen Zellen oder Solarzellen wird durch Ausnutzung des photovoltaischen Effektes solare Strahlungsenergie direkt in elektrische Energie umgewandelt. Die Solarzellen werden vorwiegend aus planaren einkristallinen oder polykristallinen Siliziumwafern hergestellt. Für das Silizium ist die konventionelle p/n-Halbleiterstruktur favorisiert. Für die Siliziumsolarzellen sind heute lediglich Abmessungen bis ca. $15 \times 15 \text{ cm}^2$ technologisch möglich. Technologisch bedingt ist ein hoher Materialeinsatz (Dicken von größer ca. $300 \mu\text{m}$) notwendig. Weitere Nachteile sind in der aufwendigen und kostenintensiven Weiterverarbeitung der Solarzellen zu Solarmodulen sowie der geringen Flexibilität hinsichtlich Formen und Größen zu sehen.

[0004] Weitere Systeme für Solarzellen werden in US 4691076, US 4992138 und US 5028546 beschrieben. Eine Darstellung ist auch durch die Publikation von J. D. Levine et al. ("Basic Properties of the Spherical Solar TM Cell", Proceedings of the Twenty Second IEEE Photovoltaic Conference, Vol. 2, pp. 1045-48, 1991) gegeben. Bei diesem System wird eine Anordnung von Halbleiterkugeln aus Silizium verwendet. Die Herstellung der Kugeln wird in US 3998659 und US 5556791 beschrieben. Jede der Halbleiterkugeln ist so aufgebaut, dass ein innerer Kern eine spezielle Halbleiterdotierung aufweist (im Beispiel: p-Dotierung). Der Kern wird vollständig von einer entgegengesetzt dotierten Hülle (im Beispiel: n-Dotierung) umgeben. Damit wird der p/n-Halbleiterübergang geschaffen. Jede Halbleiterkugel ist für sich schon als eine eigenständige Solarzelle zu verstehen. Da die gewonnene elektrische Leistung pro Siliziumkugel sehr gering ist, müssen aus den kleinen Siliziumelementen sogenannte Solarzellenarrays formiert werden.

[0005] Die Siliziumkugeln werden nach US 4691076 in voneinander isolierte flexible Aluminiumfolien, die gleichzeitig die elektrischen Kontakte für die p- und n-Dotiergebiete darstellen, eingehaust. Hierzu müssen die Halbleiterkugeln vorab exakt in vorgefertigten, meist durch Perforieren hergestellte Vertiefungen positioniert und fixiert werden. Zur Fortführung des Verfahrens werden aufwendige Strukturierungs- und chemische Ätzprozesse zur partiellen Entfernung der entgegengesetzt dotierten äußeren Hülle der Siliziumkugeln zur Herstellung der notwendigen elektrischen Kontaktflächen benötigt. Diese Kontaktierungsverfahren sind sehr labororientiert und hängen in starkem Maße vom Geschick des Ausführenden ab.

[0006] In US 4173494 und US 4614835 wird das Verfahren aus US 4691076 auf die Einbettung in eine Glasmatrix erweitert. Eine mögliche Verschaltung zu großflächigen Arrays wird in US 4407320 vorgeschlagen. In US 5419782 und US 5468304 werden Modifikationen des Solarzellenarrays zur besseren Ausnützung der einfallenden Strahlung

beschrieben. Der Lösungsansatz in US 5419782 sieht vor, durch entsprechende Kombinationen von Schichten mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften (Brechungsindex), die auf der Vorderseite der Arrays aufzubringen sind, eine "Lichtlenkung" des in die Zwischenräume zwischen den Siliziumteilchen fallenden Lichtes direkt auf die Siliziumkugeln zu bewirken. Dabei müssen die Schichten vollkommen symmetrisch und in definierter Dicke auf die Oberflächen der Siliziumkugeln abgeschieden werden. Dies ist in der industriellen Massenproduktion kaum oder nur unter großem Aufwand zu realisieren. In US 5468304 werden zur Verbesserung der optischen Performance die Zwischenräume zwischen den Kugeln mit einem transparenten Material konkav ausgefüllt. In Kombination mit einer zu realisierenden planen Reflexionsschicht in diesem Bereich wird das eintreffende Licht dann seitlich auf die einzelnen Siliziumzellen reflektiert.

[0007] Die vorgeschlagenen Solarzellen und die korrespondierenden Herstellverfahren weisen eine Reihe von Nachteilen auf. Dies äußert sich z. B. darin, dass die verwendeten Halbleiterpartikel aus einem Grundkörper eines bestimmten Leitungstypes (p- oder n-Typ) mit einer entgegengesetzt dotierten Hülle (n- oder p-Typ) aufgebaut sind und somit für die notwendige elektrische Kontaktierung der Partikel sehr aufwendige fotolithographische Strukturierungs- und Ätzprozesse für jedes einzelne Halbleiterbauelement benötigt werden. Diese sind aufwendig und auf kleinen Dimensionen schwer zu handhaben. Dadurch werden aber auch zusätzliche Verunreinigungen bzw. elektronisch aktive Defekte in das Halbleitermaterial oder die Grenzflächen eingebracht, so dass nur geringe solare Wirkungsgrade erhalten werden können.

[0008] Weiterhin lassen sich nahezu nur Partikel mit einer kugelförmigen oder kugelförmigen Form einsetzen. Bei den genannten Verfahren müssen die Halbleiterpartikel in vorgegebene perforierte Träger geordnet eingebracht werden. Dadurch ergeben sich höchste Anforderungen an die Genauigkeit der Geometrie und der Abmessungen der Teilchen, die in der industriellen Praxis nur unter hohem verfahrenstechnischen und somit finanziellen Aufwand umgesetzt werden können.

[0009] Von besonderem Nachteil ist, dass die bekannten Verfahren auf Grund der komplizierten Prozessschritte nur auf Partikel mit Abmessungen größer $0,5 \text{ mm}$ angewendet werden können. Auf Grund der großen Abmessungen der Partikel sind die beschriebenen Verfahren in der Praxis im wesentlichen auf Silizium (indirekter Halbleiter) begrenzt. Bei direkten Halbleitern, die eine sehr große Absorption aufweisen, sind Dicken von nur wenigen μm (ca. 1 bis $50 \mu\text{m}$) ausreichend, um das gesamte Sonnenspektrum nahezu vollständig zu absorbieren. Bei diesen geringen geometrischen Abmessungen versagen die vorgeschlagenen Verfahren.

[0010] Die Patente EP 0940860 sowie EP 0866506 beschreiben ein sphärisches Halbleiterbauelement. Im Gegensatz zu den weiter oben genannten Verfahren wird hier die vollständige Herstellung unabhängig einzelner Halbleiterbauelemente, d. h. einschließlich der beiden erforderlichen Elektroden, behandelt. Gemäß EP 0940860 werden die Halbleiterkugeln wie folgt hergestellt: auf einen sphärischen Siliziumkern wird zur Erzeugung des p/n-Überganges eine Halbleiterschicht als Hülle aufgebracht. Es werden auch hier sehr große Durchmesser der Kugeln von $> 1 \text{ mm}$ verwendet. Aus Gründen einer möglichen Kostenreduktion wird für den Kern Material geringerer Qualität (metallurgisches Silizium) verwendet. Durch einen thermischen Schmelzprozess wird eine monokristalline bzw. polykristalline Struktur in der halbleitenden Hülle erhalten. Im Folgeschritt wird eine

aus zwei transparenten Schichten bestehende Beschichtung (SiO_2 , SiN_x) aufgetragen, um eine optische Anpassung (Reflexion, Streuung des einfallenden Lichtes) vorzunehmen. Im weiteren müssen Fenster durch die Reflexionsschicht hindurch geätzt werden, um dann die p-leitende Halbleiterschicht aufbringen zu können. Zur darauffolgenden Dotierung der Halbleiterschicht ist eine im Durchmesser ca. 500 μm große Diffusionsmaske zu erzeugen und ein weiterer Ätzprozess durchzuführen. Im folgenden muß die Halbleiterschicht dotiert werden. Anschließend wird eine oxidische Passivierungsschicht aufgebracht. Durch erneutes Abtragen der Schichten werden Öffnungen für die darauffolgende Anbringung der Kontakte (Metallisierung) erzeugt. [0011] Die Herstellung der vorgeschlagenen Halbleiterbauelemente entspr. EP 0940860 sowie EP 0866506 erfolgt durch sehr aufwendige und komplizierte Prozessschritte. Es sind ebenfalls mehrere Strukturierungs- und Ätzschritte sowie zusätzliche Hochtemperaturprozessschritte erforderlich, so dass eine Übertragung auf eine kostengünstige Massenproduktion nicht möglich ist. Nachteilig ist weiterhin, dass die Halbleiter zur Durchführung der Verfahren prinzipiell eine Kugelform aufweisen müssen. Die beschriebenen Verfahren sind in starkem Maße an die heutige Halbleiterindustrie auf planaren Wafern (Abmessungen von bis zu 8") angelehnt. Ungelöst ist hierbei, ob die Übertragung der Halbleitertechnologie auf einzelne, individuelle Halbleiterkugeln überhaupt unter wirtschaftlichen Aspekten realisierbar ist. Die Halbleiterkugeln müssen bei den vielen notwendigen Prozessschritten (siehe z. B. Maskierung, fotolithographische Strukturierung, Ätzen der Fenster, Aufbringen von optischen Schichten mit hoher Schichtdickengleichmäßigkeit) exakt gehandhabt bzw. positioniert werden. Problematisch erscheint hierbei insbesondere, dass die technologisch sehr anspruchsvollen und kostenintensiven Prozessschritte der Halbleiterindustrie sowohl auf gekrümmte Flächen (siehe Kugelgestalt der Halbleiterbauelemente) als auch – im Vergleich zu den Standardwafern – auf verhältnismäßig kleine Dimensionen übertragen werden müssen. Eine großflächige und wirtschaftliche Produktion scheint aus diesen Gründen nicht möglich. Auch führt die technologisch bedingte große Dicke der Siliziumkugeln von $> 1 \text{ mm}$ zu hohen Materialkosten. Nachteilig ist weiterhin, dass vor allem geringe Durchmesser der Halbleiterpartikel von weniger als ca. 250 μm (insbesondere in einem Dickenbereich von ca. 1 μm bis 50 μm , was v. a. für direkte Halbleiter von besonderer Bedeutung ist) mit den beschriebenen Verfahren überhaupt nicht realisierbar sind.

[0012] Die grundsätzlichen Probleme bei den beschriebenen Verfahren sind vor allem in der Erzeugung einer guten Isolatorschicht zwischen den beiden Elektroden und in den hierzu benutzten Herstelltechnologien zu sehen. Die in den zitierten Patenten beschriebenen Wege lassen sich wie folgt zusammenfassen:

(1) Zum einen gibt es die Möglichkeit, die Halbleiterpartikel in einem Matrixmaterial (z. B. Polymere, Zement entspr. US 5415700, Harze oder ähnlichem) einzubetten und danach als Kompositschicht aufzutragen. Um bei diesem Verfahren eine dicht gepackte und einlagige Anordnung der Halbleiterelemente – und dies auf sehr großen Flächen unter Industriebedingungen – zu realisieren, erweist sich als sehr schwierig. Die bisherigen Erfahrungen bestätigen darüber hinaus, dass durch die verwendeten Matrixmaterialien mitunter große Mengen an schädlichen Verunreinigungen (siehe elektronisch aktive Defekte für die generierten Ladungsträger) in die Halbleiter eingetragen werden und somit die Funktionalität der gesamten Halbleiteranord-

nungen einschränken. Aber auch Degradationserscheinungen von insbesondere organischen Matrixmaterialien unter Einwirkung von UV-Strahlung, Wärme und Feuchtigkeit können nicht immer vermieden werden. In den aufgetragenen Kompositschichten können aber auch verfahrensbedingt weitere Defekte (z. B. Poren usw.) entstehen. Im weiteren muss berücksichtigt werden, dass nach dem Auftragen der Kompositschicht und dem anschließenden Konditionieren derselben (z. B. Aushärten unter Wärmeeinwirkung) die elektrischen Kontaktflächen an den Halbleiterteilchen für die beiden Elektroden freigelegt werden müssen (z. B. durch mechanischen Abtrag). Bei Flächen von mehreren Quadratmetern und der dabei geforderten Präzision im μm -Bereich ist diese Aufgabenstellung technologisch sehr schwierig zu lösen. Sowohl die durch das Matrixmaterial als auch durch die Bearbeitungsschritte zusätzlich eingeschleppten Verunreinigungen erschweren letztendlich auch die notwendige Erzeugung eines guten ohmschen Kontaktes an den Halbleiterteilchen. (2) Die zweite Möglichkeit besteht darin, die Halbleiterteilchen einlagig auf einem perforierten leitfähigen Träger aufzubringen und anschließend die Beschichtung mit einem isolierenden Material vorzunehmen. Dabei ist es jedoch erforderlich, die für die spätere elektrische Kontaktierung vorgesehenen Flächen auf den Halbleiterkugeln vorab abzudecken bzw. die Isolatorschicht dort anschließend zu entfernen. Damit verbunden sind technologisch aufwendige lithographische Strukturierungs- und Ätzprozesse, die sich wirtschaftlich kaum auf große Flächen übertragen lassen. Die Realisierung dieses Verfahrens stellt zudem hohe Anforderungen an die Gleichmäßigkeit der Halbleiterteilchen hinsichtlich Größe und Form. Auf kleine, unregelmäßig geformte Halbleiterpartikel lässt sich dieses Verfahren nicht anwenden.

(3) Eine dritte Möglichkeit besteht darin, die Halbleiterteilchen in zwei leitfähige Metallfolien (stellen die beiden Elektroden dar) einzubringen und den Zwischenraum anschließend unter hohem technologischen Aufwand mit einem isolierenden Material zu füllen (vergl. US 5086003). Ungeklärt ist, in wie weit sich ein derartiges Verfahren auf große Flächen übertragen lässt. Andererseits sind auch hier hohe Genauigkeitsanforderungen an die Partikelgröße und -form zu stellen.

[0013] Bei den beschriebenen Möglichkeiten sind elektrische Kurzschlüsse zwischen den beiden Elektroden nicht auszuschließen. Es wurden deshalb Methoden entwickelt (z. B. US 5192400), mit deren Hilfe derartige Kurzschlüsse isoliert und damit unwirksam gemacht werden können.

[0014] Die wichtigsten Forderungen, die an eine derartige Isolatorschicht zu stellen sind, lassen sich wie folgt zusammenfassen: (a) gute elektrische Isolation der Schicht, (b) hohe optische Transparenz, möglichst bis in den UV-Bereich, und bei einem niedrigen Reflexionsvermögen, (c) hohe chemische, thermische und Lichtstabilität, (d) Möglichkeit einer selektiven Abscheidung/Konvertierung, (e) die Abscheidung muss auch in abgeschatteten Bereichen bzw. in Hohlräumen und Ecken usw. erfolgen können, (f) es müssen beliebige Schichtdicken erzeugt werden können, (g) ihre Eigenschaften (Dichte, Porosität usw.) müssen in weiten Bereichen und auf einfache Weise definiert bzw. kontrolliert eingestellt werden können, (h) ein entspr. wissenschaftliches und technologisches Know-how sowie die Herstelltechniken sollten verfügbar sein, (i) die Herstellung muss kostengünstig auf große Flächen übertragbar sein, (j) die Herstellung muss kompatibel zu den verwendeten Materia-

lien und den in Anlehnung an die Halbleitertechnologie eingesetzten Verfahrensschritten sein usw.. Dieser gesamte Komplex an Anforderungen kann durch die bisher bekannten Verfahren nicht erfüllt werden.

[0015] Die Aufgabe der Erfindung ist es, eine verbesserte Halbleitereinrichtung anzugeben, mit der die Nachteile der herkömmlichen photovoltaischen Einrichtungen überwunden werden. Die Aufgabe der Erfindung ist es auch, ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen Halbleitereinrichtung anzugeben.

[0016] Diese Aufgaben werden mit einer Halbleitereinrichtung und einem Verfahren mit den Merkmalen gemäß dem Patentansprüchen 1 bzw. 28 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0017] Die Grundidee der Erfindung ist es insbesondere, eine gattungsgemäße Halbleitereinrichtung mit einem Schichtaufbau aus einer Trägerschicht, die ein elektrisch leitfähiges Trägermaterial aufweist, einer Isolationsschicht, die durch elektrisch isolierendes Isolationsmaterial gebildet wird, auf der Trägerschicht angeordnet ist und Halbleiterpartikel enthält, und einer Deckschicht, die mindestens ein elektrisch leitfähiges Deckmaterial aufweist und auf der Isolationsschicht angeordnet ist, wobei jeder Halbleiterpartikel sowohl die Trägerschicht als auch die Deckschicht berührt, dahingehend weiterzuentwickeln, dass das Isolationsmaterial durch mindestens eine Metalloxidverbindung gebildet wird, die zumindest teilweise ein Oxid des Trägermaterials enthält. Durch diese Maßnahme werden die Halbleiterpartikel vorteilhafterweise fest in die Isolationsschicht eingebettet, wobei die oben genannten Anforderungen an die Isolationsschicht erfüllt werden.

[0018] Wichtige Merkmale der Isolationsschicht bestehen insbesondere darin, dass sie mechanisch fest mit der Trägerschicht verbunden ist. Die Bildung der Isolationsschicht aus einem Oxid des Trägermaterials kann die Isolationsschicht auf der Trägerschicht wachsend gebildet werden, so dass die Halbleiterpartikel eingebettet werden. Die Isolationsschicht kann ganzflächig auf der Trägerschicht gebildet werden.

[0019] Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist es insbesondere, kostengünstige, effiziente Halbleiterbauelemente anzugeben, die bei einfachem Aufbau großflächig auf starren oder flexiblen Substratträgern hergestellt werden können. Weiterhin schließt die Erfindung die zur ihrer Herstellung erforderlichen Verfahren sowie die Verfahren zur Weiterverarbeitung zu z. B. Solarmodulen, großflächigen Detektoren bzw. Sensoren, elektrochemischen Bauelementen usw. ein.

[0020] Die Erfindung ist nicht auf die Verwendung der Halbleitereinrichtung als Solarzellenanordnung beschränkt. Vielmehr sind weitere Anwendungsbereiche der vorgeschlagenen Halbleiterbauelemente gleichfalls Bestandteil der Erfindung.

[0021] Gegenstand der Erfindung ist es auch, ein Halbleiterbauelementes anzugeben, bei dem sehr kleine Halbleiterpartikel ungeordnet und in beliebiger Form auf elektrochemisch oder in ähnlicher Weise oxidierbaren Trägermaterialien aufgebracht werden. Die Halbleiterbauelemente sind mit einem sehr geringen Material- und Kosteneinsatz herzustellen.

[0022] Ein weiteres wichtiges Merkmal der Erfindung besteht darin, dass die notwendige Schutz- und Isolationsschicht direkt aus dem Trägermaterial heraus gebildet ist und vorzugsweise durch eine elektrochemische Oxidation oder ähnliche Prozesse erfolgt. Ferner ist es Gegenstand der Erfindung, die Halbleiterbauelementanordnungen ohne komplizierte Strukturierungs-, Maskierungs- und chemische Ätzprozesse herzustellen.

[0023] Ein Vorteil der Erfindung besteht insbesondere darin, dass durch verschiedene Maßnahmen eine Optimierung der Effizienz des Halbleiterbauelementes ermöglicht wird. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass eine Halbleitereinrichtung durch den erfindungsgemäßen Schichtaufbau, insbesondere durch die erfindungsgemäße Isolationsschicht, eine erhöhte mechanische Stabilität der Partikelfixierung erhält. Bei der Umwandlung des Trägermaterials hat sich gezeigt, dass der Prozess so gestaltet werden kann, dass ein Teil des Oxides direkt aus dem Substrat heraus nach oben wächst. Dieser Umwandlungsprozess kann nun so gestaltet werden, dass dieser Teil bis zu ca. zwei Drittel der Gesamtdicke der Oxidschicht ausmachen kann. Dadurch wird die notwendige mechanische Verzahnung der Halbleiterpartikel auf dem Trägermaterial verbessert.

[0024] Ein weiterer Gegenstand der Erfindung besteht darin, dass bei Verwendung photovoltaisch aktiver Halbleiterpartikel hocheffiziente und langzeitstabile Bauelemente zur Umwandlung von Strahlung in andere Energieformen (Elektrizität, chemische Energie) oder auch elektronische Zustände konstruiert werden können.

[0025] Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden aus der folgenden Beschreibung der beigefügten Zeichnungen ersichtlich. Es zeigen:

[0026] Fig. 1a-g eine schematische Übersichtsdarstellung der Schritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer Halbleitereinrichtung,

[0027] Fig. 2a-c schematische Darstellungen weiterer Ausführungsformen erfindungsgemäßer Halbleitereinrichtungen,

[0028] Fig. 3a-c schematische Darstellungen weiterer Ausführungsformen erfindungsgemäßer Halbleitereinrichtungen,

[0029] Fig. 4a-d schematische Schnittdarstellungen einer erfindungsgemäßen Halbleitereinrichtung, und

[0030] Fig. 5a-g eine schematische Übersichtsdarstellung der Anwendung optischer Mikroschalter in einer erfindungsgemäßen Halbleitereinrichtung.

[0031] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung der Halbleitereinrichtung oder Halbleiterbauelementanordnung wird in den Fig. 1a bis g schematisch dargestellt. Den Ausgangspunkt entspr. Fig. 1a bildet ein Halbleitermaterial, das in Form kleiner Halbleiterpartikel (1) vorliegt. Die Partikel müssen dabei nicht unbedingt eine kugelige oder kugelhähnliche Form haben. Vielmehr hat sich gezeigt, dass es z. B. zur Optimierung der Flächenbedeckung vorteilhaft sein kann, beliebig geformte Partikel einzusetzen. Bei den Experimenten hat sich ergeben, dass es auch nicht unbedingt notwendig ist, Partikel von nahezu gleicher Größe einzusetzen.

[0032] Ein solches Halbleiterpartikel stellt das Grundelement des Halbleiterbauelementes dar. Zur Beschreibung der Erfindung wird exemplarisch das Material Silizium, dessen Verbindungen, Heterostrukturen usw. herangezogen. Eine Übertragung auf andere Materialien ist gegeben und ist Bestandteil der Erfindung. Im folgenden wird exemplarisch von p-dotiertem kristallinen bzw. polykristallinen Siliziumpartikeln (1) ausgegangen. Je nach Ausführung der erfindungsgemäßen Solarzelle können aber auch intrinsische oder n-dotierte Halbleitermaterialien oder auch aus dem Stand der Technik bekannte Halbleiterpartikel (siehe z. B. US 3998659 und US 5556791) Verwendung finden. Vorzugsweise sind besonders hochreine Halbleitermaterialien, wie sie in der Mikroelektronik zum Einsatz kommen, zu verwenden, um qualitativ ausreichende Halbleitereigenschaften der Partikel zu erhalten. Bei Einsatz der bei der Waferherstellung anfallenden Restmaterialien bzw. mechanisch zerkleinertem hochreinen Silizium, die sehr preiswert zur

Verfügung stehen, konnten nach einer Konditionierung die besten Ergebnisse erzielt werden.

[0033] Die erfindungsgemäße Verwendung der Halbleiterpartikel hat gegenüber den heute eingesetzten planaren Halbleiterbauelementen den Vorteil, dass auf Grund der gekrümmten Oberflächen das Licht unabhängig von der Einfallrichtung nahezu gleichermaßen eindringen kann. Durch die unregelmäßig geformten Partikel kann ein Teil des eingedrungenen Lichtes innerhalb der Halbleiterpartikel total reflektiert werden, wodurch die optischen Verluste weiter reduziert werden können.

[0034] Als metallische Unterlage oder Trägerschicht (2) mit einer guten elektrischen und thermischen Leitfähigkeit wurde vorzugsweise Aluminium eingesetzt. Aluminium steht kostengünstig und in nahezu beliebiger Verarbeitungsform und -größe zur Verfügung. Aber auch andere durch elektrochemische Oxidation oder ähnliche Verfahren konvertierbare Materialien (z. B. Ti) sind einsetzbar. Für die metallische Trägerschicht (2) in Fig. 1a wurde Aluminiumfolie mit einer Dicke von ca. 5 µm bis ca. 1 mm – je nach Ausführungsform des Halbleiterbauelementes und dem vorgesehenen Anwendungsbereich – verwendet. Es wird vorzugsweise möglichst reines Material verwendet. Dadurch wird vermieden, dass durch das Trägermaterial – infolge zusätzlicher Verunreinigungen im Halbleiter oder am Halbleiter-Metall-Übergang – elektronisch aktive Defekte entstehen, die zu einer Verringerung des Wirkungsgrades der Halbleiterbauelemente führen könnten. Handelübliches Aluminium mit einem Legierungsanteil an Silizium zur Einstellung der mechanischen Folieneigenschaften konnte eingesetzt werden.

[0035] Das metallische Trägermaterial wirkt gleichzeitig als ein Reflektor für das durch den Zwischenbereich und die Halbleiterpartikel hindurchgetretene Licht. Somit kann das eingestrahlte Licht effektiver genutzt werden.

[0036] Aber auch dünne Schichten aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen oder anderen elektrochemisch oxidierbaren Materialien ließen sich erfolgreich verwenden. Derartige Trägerschichten mit Dicken zwischen ca. 0,2 µm und 100 µm lassen sich durch verschiedene bekannte Beschichtungsverfahren, wie z. B. vakuumbasierte Beschichtungsverfahren (Sputtern, thermisches Verdampfen, plasmaunterstützte bzw. thermische Gasphasenabscheidungsverfahren oder ähnliche), chemische bzw. elektrochemische Verfahren usw., erzeugen. Ein Vorteil derartiger Schichten gegenüber Folienmaterial ist vor allem darin zu sehen, dass die dünnen Schichten auf nahezu beliebige Substratmaterialien und -formen mit einem Höchstmaß an Reinheit abgeschieden werden können.

[0037] Die Trägermaterialien sollten vor ihrem Einsatz je nach Verschmutzungs- bzw. Kontaminationsgrad oder entspr. Art der Verschmutzung nochmals einer Reinigung durch die bekannten nasschemischen bzw. "trockenen" plasmagestützten Verfahren oder Kombinationen aus beiden unterzogen werden.

[0038] Im nächsten Schritt entsprechend Fig. 1b wird ein mechanisch und elektrisch fester Verbund zwischen den Halbleiterpartikeln (1) und dem Trägermaterial (2) hergestellt. Dabei wird vorzugsweise dafür gesorgt, dass die Halbleiterpartikel in das Trägermaterial eindringen. Die zu wählende Eindringtiefe ist von halbleiterphysikalischen, geometrischen und anwendungsorientierten Faktoren abhängig und daher auf den konkreten Anwendungsfall anzupassen. Des weiteren werden die Halbleiterpartikel vorzugsweise einlagig auf dem Träger aufgebracht. Dadurch kann jedes Halbleiterpartikel optimal als ein einzelnes Halbleiterbauelement wirken.

[0039] Die Herstellung des Verbundes kann im einfach-

sten Fall durch mechanisches Anpressen – vorzugsweise bei Temperaturen zwischen 350°C und ca. 600°C, vorzugsweise in den Nähe des eutektischen Punktes von 577°C – erfolgen. Der dabei zu wählende Anpressdruck sowie die Anpresszeit hängen u. a. von der gewählten Temperatur ab. Zur Erzielung eines Schichtaufbaus mit möglichst reproduzierbaren Eigenschaften werden die Temperaturprozesse (Aufheizen, Temperung, Abkühlung usw.) genau kontrolliert.

[0040] Durch ein partielles Anschmelzen der Oberfläche des Trägermaterials während des Partikelaufrages werden besonders gute Ergebnisse erzielt. Dieses Verfahren hat die Vorteile, dass einerseits nur wenig Energie in diesen Prozessschritt eingebracht werden muss, ein kontinuierliche Produktionsprozess umgesetzt werden kann und andererseits auch temperaturempfindlichere Substrate (z. B. Natron-Kalk-Glas usw.) eingesetzt werden können. Bei partiellen Oberflächentemperaturen von ca. 400°C bis 620°C ergeben sich eine hervorragende mechanische Haftung der Siliziumpartikel auf dem Trägermaterial Aluminium. Dies ist v. a. auch auf die Diffusionsprozesse an der Grenzfläche zwischen Al und Si zurückzuführen. Die Zugabe spezieller Elemente und Verbindungen, die vorher auf dem Trägermaterial durch bekannte Verfahren aufgebracht wurden oder/und auch direkt während des Prozesses zugeführt werden, kann sich fördernd auf die Herstellung eines guten Verbundes auswirken. Darüber hinaus kann eine Absenkung des Schmelzpunktes des Aluminiumträgers bekanntermaßen durch Zulegierung weiterer Elemente zum Trägermaterial erfolgen.

[0041] Die Zufuhr der zur Aufheizung erforderlichen Energie kann mittels bekannter Techniken wie z. B. durch spektral angepasste Strahlungsheizer, Ultraschall, Lasereinwirkung, konventionelle Heizverfahren (konvektive Verfahren, Stromheizung) oder ähnliche Verfahren realisiert werden.

[0042] Als besonders vorteilhaft hat sich erwiesen, wenn durch eine Vorbehandlung oder einen beim Auftragen der Halbleiterpartikel simultan geführten Prozess die sich unter Anwesenheit von Sauerstoff sofort auf der Aluminiumoberfläche bildende, nur wenige Nanometer dicke Oxidschicht entfernt wird. Zur Durchführung lassen sich bekannte Verfahren wie nasschemisches Beizen oder Ätzen, "trockene" Plasmaätzprozesse usw. verwenden. Weiterhin ist vorzugsweise dafür zu sorgen, dass auch beim Aufbringen der Partikel möglichst kein Sauerstoff zur erneuten thermisch aktivierten Oxidation des Trägermaterials zur Verfügung steht. Deshalb werden die Halbleiterpartikel unter einer Inertgasatmosphäre, die vorzugsweise reduzierende Bestandteile enthält (z. B. Mischung aus Argon und/oder Stickstoff mit Wasserstoff o. ä.) oder im Vakuum auf den Träger aufgebracht.

[0043] An der Grenzfläche zwischen dem Halbleiterpartikel (1) und dem Trägermaterial (2) bildet sich unter begünstigendem Einfluss der Temperatur und/oder des Druckes ein Mischbereich (3) (siehe Fig. 1c). Dieser ist besonders wichtig, um neben der mechanischen Haftung einen guten ohmschen Kontakt herzustellen.

[0044] Im exemplarisch ausgewählten Beispiel wird darüber hinaus eine weitere p-Dotierung der p-Siliziumpartikel ausgenutzt. Die Diffusion der dreiwertigen Aluminiumatome in das p-dotierte Siliziumpartikel wird durch die Prozessparameter so eingestellt, dass im Mischbereich (3) eine definierte Erhöhung der Akzeptorkonzentration (p⁺-Dotierung) erfolgt. Damit lässt sich erreichen, dass die elektrischen Rekombinationsverluste an der p-p⁺-Halbleiter-Metall-Grenzfläche (Back-Surface-Field), z. B. zu Gunsten eines höheren Wirkungsgrades, deutlich reduziert werden können.

[0045] Erfindungsgemäß können vor oder während des Aufbringens der Halbleiterpartikel durch aus dem Stand der Technik bekannte Beschichtungsverfahren weitere Dotierelemente eingesetzt werden.

[0046] Die Fig. 1d zeigt die Bildung der Schutz- und Isolationsschicht (4) auf dem leitfähigen Trägermaterial (2). Die Schicht (4) ist erforderlich, um einerseits einen Schutz des Rückkontaktes (3) zu ermöglichen und zum anderen die elektrische Trennung der Kontakte der Halbleiterpartikel vorzunehmen. Die Schutz- und Isolatorschicht wird dabei erfindungsgemäß durch selektive Konversion des Trägermaterials, vorzugsweise durch eine elektrochemische Oxidation oder einen ähnlichen Prozess erzeugt. Entscheidend ist, dass durch den selektiven Prozess – d. h. nur auf der metallischen Trägeroberfläche und nicht auf dem Halbleiterpartikel – eine genügend dichte und gut elektrisch isolierende Schicht erzeugt wird. Da die Schutz- und Isolatorschicht geradezu aus dem Substrat heraus nach oben wächst, sind keine aufwendigen Maskierungs-, Ätz- oder sonstige lithographische Prozesse erforderlich. Die Isolationsschicht besitzt eine Dicke von mindestens 5 nm.

[0047] Die anodische Oxidation von Aluminium in sauren Medien ist seit langem erforscht und wird heute im großen Maßstab industriell genutzt. Durch die Wahl der chemischen Reagenzien und der Prozessparameter lässt sich die Dicke der Aluminiumoxidschicht, deren Mikrostruktur (Dichte, Porosität), die mechanischen und elektrisch isolierenden Eigenschaften, die Stabilität gegenüber chemischen Reagenzien usw. in weiten Bereichen definiert einstellen. Die konkreten Parameter sind durch vorher durchzuführende Experimente der jeweiligen Kombination zwischen Partikeltyp (Halbleitermaterial, Größe usw.) und Trägermaterial anzupassen. Durch bekannte Nachbehandlungsverfahren lassen sich die Eigenschaften weiter modifizieren.

[0048] Die Dicke der Schutz- und Isolationsschicht lässt sich auf einfache Weise im Bereich von einigen Nanometern bis einige Mikrometer einstellen. Es hat sich gezeigt, dass Dicken der Aluminiumoxidschicht von $< \text{ca. } 15 \mu\text{m}$ ausreichend sind. Besonders vorteilhaft ist, dass die Säurelösung in jeden Bereich an der Grenzfläche Trägerunterlage – Halbleiterpartikel (auch in abgeschattete Bereiche, in Ecken und Hohlräume) gelangen kann und es vermag, auch genau an diesen, für andere Verfahren kritischen Stellen die isolierende Oxidschicht aufzubauen. Erst dadurch ist es erfindungsgemäß möglich, Halbleiterpartikel in nahezu beliebiger Größe und Form zu verwenden. Elektrische Kurzschlüsse zwischen den Elektroden, wie sie bei den anderen Verfahren auftreten, lassen sich durch die Erfindung nahezu vollständig vermeiden.

[0049] Zur optimalen Ausnutzung des gesamten Spektralbereiches der einfallenden Strahlung ist es notwendig, die Isolatorschicht so zu wählen, dass möglichst keine zusätzlichen optischen Absorptions- und Reflexionsverluste auftreten. Für die Isolatorschicht ist ein nichtabsorbierendes Material mit einer Bandlücke größer $3,1 \text{ eV}$ ausreichend. Ferner führt ein möglichst geringer Brechungsindex ($n < 1,7$) des Isolators zu einer besseren optischen Anpassung des Gesamtsystems und bewirkt somit eine Reduzierung von Reflexionsverlusten. Durch das erfindungsgemäß verwendete System Aluminiumträger-Aluminiumoxid-Schutzschicht wurden diese Forderungen erfindungsgemäß sehr gut erfüllt.

[0050] Durch aus der Halbleiterindustrie an sich bekannten materialspezifischen Behandlungsverfahren (z. B. Reinigung, Ätzprozesse, Konditionierprozesse usw.) können mögliche Defekte im Halbleitermaterial oder an dessen Grenzflächen ausgeheilt, entfernt oder neutralisiert werden. Diese Verfahren werden nicht näher beschrieben, sind aber Bestandteil der Erfindung.

[0051] Zur Ausbildung des p-n-Überganges (5) in Fig. 1e werden auf der oberen Seite des Si-Halbleiterpartikels (1) entsprechende Dotieratome eingebracht bzw. eindiffundiert. Für die n-Dotierung werden bekanntermaßen V-wertige Donatoratome – z. B. P, As, Sb – eingesetzt. Umgekehrt werden für eine p-Dotierung III-wertige Akzeptorelemente wie z. B. Bor, Al, Ga usw. verwendet. Vorzugsweise werden als Donatoren bzw. Akzeptoren die Elemente Phosphor bzw. Bor oder Aluminium verwendet. Die Invertierung von p-leitendem in n-leitendes Silizium z. B. durch thermische Aktivierung von auf Zwischengitterplätzen eingebautem Sauerstoff ist ebenfalls möglich. Aber auch andere, aus dem Stand der Technik bekannte Dotierverfahren und Halbleiterstrukturen sind verwendbar und als spezielle Ausführungen Bestandteil der Erfindung.

[0052] Zur Einbringung der Dotanten werden die aus der Halbleitertechnik bekannten Dotierverfahren (vakuumbasierte Verfahren, plasmagestützte bzw. thermische Gasphasenabscheidung, Implantation, nasschemische Verfahren usw.) verwendet. Als vorteilhaft hat sich erwiesen, die Diffusionsprozesse durch eine partielle Aufheizung der Si-Partikeloberfläche zu unterstützen.

[0053] In einer weiteren Ausführung wurde auf das p-dotierte Siliziumpartikel eine bis ca. 500 nm dicke phosphordotierte amorphe hydrogenierte Siliziumschicht (a-Si:H(P)) aufgebracht. Zur Herstellung dieser n-leitenden Schicht wurde das industriell bewährte Verfahren der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung (PECVD) verwendet. Gegenüber den Solarzellen mit eindiffundierten Dotanten weisen die mit a-Si:H(P) beschichteten deutlich höhere Defektdichten auf, wodurch nur geringere solare Wirkungsgrade erreicht werden können. Insbesondere bei Verwendung anderer, nicht tetraedrisch koordinierter Halbleiterpartikel (z. B. binäre bzw. ternäre I-III-VI-, III-V-, II-VI-, I-II-VI-Verbindungen usw.) ist es vorteilhaft, den p-n-Übergang direkt durch die Abscheidung dünner Halbleiterschichten (Heteroübergänge) zu erzeugen. So konnten erfindungsgemäß Halbleiterbauelemente durch Beschichtung von aus I-III-VI-Halbleiterverbindungen (z. B. Cu(In,Ga)Selenid oder -Sulfid) bestehenden Halbleiterpartikeln mit n-leitenden II-VI-Verbindungen (z. B. $(\text{Zn,Cd})\text{S}$) hergestellt werden, die insbesondere für solare Anwendungen von Bedeutung sind.

[0054] Für die elektrische Kontaktierung der dem Sonnenlicht zugewandten Vorderseite der Halbleiteranordnung in Fig. 1f wird vorteilhafterweise eine leitfähige Schicht (6) aufgetragen. Die Dicke der Schicht wurde so gewählt, dass möglichst nur ein geringer Flächenwiderstand von $< 10 \text{ Ohm/sq.}$ vorliegt. Als Materialien haben sich besonders transparente leitfähige Oxide (TCO; z. B. Sn-dotiertes In_2O_3 (ITO), F- bzw. Sb-dotiertes SnO_2 , Al- bzw. Ga-dotiertes ZnO oder Gemische usw.) mit Schichtdicken $> 50 \text{ nm}$ oder auch sehr dünne semitransparente Schichten aus Metallen bzw. Metallgemischen oder Kombinationen aus beiden als geeignet erwiesen. Die transparenten leitfähigen Oxidschichten haben gegenüber den semitransparenten metallischen Schichten (Schichtdicken von nur wenigen Nanometern) den Vorteil, eine deutlich höhere Lichtdurchlässigkeit im relevanten Spektralbereich von größer ca. 300 nm zu besitzen. Diese transparenten leitfähigen Oxidschichten weisen eine gute chemische und mechanische Stabilität auf und lassen sich durch bekannte, z. B. vakuumbasierte, nasschemische oder ähnliche Beschichtungsverfahren reproduzierbar applizieren. Eine besonders kostengünstige und gleichzeitig hochqualitative Großflächenbeschichtung wurde durch das DC- bzw. MF-Magnetronsputterverfahren erhalten.

[0055] Das aus der Fensterglasbeschichtung an sich be-

kannte Verfahren, dünne hochleitende Metallschichten durch leitfähige Oxidschichten zu entspiegeln, ließ sich prinzipiell ebenfalls anwenden. Jedoch war es sehr schwierig, die für eine lateral gleichmäßige Interferenzfarbe erforderlichen Schichtdickengenauigkeiten auf den komplexen Partikelgeometrien zu erzeugen.

[0056] Es ist im Rahmen der Erfindung ebenfalls vorteilhaft, aus dem Stand der Technik bekannte andere leitfähige Materialien, wie z. B. leitfähige Polymere, Nanokomposite usw. mit oder ohne Füllstoffe, einzusetzen. Durch den Auftrag derartiger dickerer transparenter leitfähiger Schichten, was in einfacher Weise durch nasschemische Prozesse (z. B. Sol-Gel-Verfahren) erfolgt, kann darüber hinaus eine gewisse Glättung der Oberfläche erfolgen.

[0057] In einer weiteren Ausführung der Erfindung werden auf die Vorderseite des Bauelementes zusätzlich dünne Metallgitterstrukturen – ähnlich der aus der Solarzellenwaferfertigung bekannten Verfahren – aufgebracht. Damit lassen sich die ohmschen Verluste weiter reduzieren. Es ist hierbei jedoch zu beachten, dass durch die Leiterbahnen eine teilweise Abschattung der Halbleiterbauelemente erfolgt und somit weniger Licht zur Generation der Ladungsträger zur Verfügung steht.

[0058] Zur Minimierung von Reflexionsverlusten ist es vorteilhaft, eine systemangepasste Anti-Reflex-Beschichtung (7) auf der dem Licht zugewandten Seite des Halbleiterbauelementes vorzunehmen.

[0059] Die transparent leitfähige Oxidschicht (6) besitzt einen Brechungsindex von ca. 2,0 bei 550 nm. Die TCO-Schicht kann als Monoschicht (6) selbst zur Entspiegelung eingesetzt werden. Durch die Abscheidung der entspr. $\lambda/4$ -TCO-Schicht mit einer Dicke von ca. 70 nm kann die Reflexion an den Si-Halbleiterpartikeln auf wenige Prozent reduziert werden. Jedoch ist die TCO-Schichtdicke zu gering, um einen ausreichenden niedrigen Widerstand des Vorderkontaktes zu ermöglichen. Eine zusätzliche Kombination mit z. B. einem dünnen Metallgitter wäre in diesem Fall notwendig.

[0060] Vorteilhafter ist es, ein Mehrschichtsystem (7) aus einer geeigneten Kombination von hoch-, mittel- und niedrigbrechenden optischen Materialien (Oxide, Nitride, Oxynitride usw.) zu verwenden. Das Interferenzschichtsystem ist so auszufertigen, dass die TCO-Schicht als hoch- und/oder mittelbrechendes Material und mit Dicken von mindestens $\lambda/2$ oder deren Vielfache eingefügt wird (vergl. DE 196 24 838). Das Schichtsystem ist entspr. der Theorie der Dünnschichtoptik dem jeweiligen Gesamtsystem anzupassen. Zur Herstellung des Interferenzschichtsystems lassen sich die aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren einsetzen. Besonders vorteilhaft haben sich die Magnetron-sputterverfahren sowie die plasmagestützten CVD-Verfahren erwiesen. Gerade wegen der komplizierten Oberflächentopographie (siehe unterschiedlich geformte Partikel) muß die Beschichtung möglichst dreidimensional und mit hoher Schichtdickengleichmäßigkeit erfolgen, was durch die CVD-Verfahren möglich ist.

[0061] Mitunter ist es für einige Anwendungen (z. B. in der architektonischen Fassadengestaltung, bei gekrümmten Glaslaminaten, in der Raumfahrt usw.) von Interesse, möglichst glatte Oberflächen zu erhalten und/oder die Oberflächen mit zusätzlichen Schutzfunktionen zu versehen. In anderen Anwendungsfeldern werden wiederum spezielle Ansprüche an den farblichen Eindruck gestellt. Diese Forderungen werden in weiteren Ausführungen erfindungsgemäß durch das vorderseitige Auftragen zusätzlicher, aus dem Stand der Technik bekannter Funktionsschichten und Materialien gelöst.

[0062] Bei Verwendung der erfindungsgemäßen Halblei-

teranordnung im Bereich Raumfahrt sind als äußerste Schicht bekannte Schutzschichten gegenüber extraterrestrischer Strahlung aufzutragen.

[0063] In einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung wird die äußerste Schicht mit hydrophoben oder hydrophilen Oberflächeneigenschaften versehen. Durch derartige Schichten kann die Benetzbarkeit von Wasser, Ölen usw. in weiten Bereichen variiert werden. Zusätzlich können damit "leicht zu reinigende oder nahezu selbstreinigende" Oberflächen gestaltet werden. Besondere Bedeutung haben die hydrophoben Materialien erlangt. Hierzu sind aus dem Stand der Technik eine Reihe von Polymeren, Ölen usw. bekannt.

[0064] Es hat sich jedoch gezeigt, dass insbesondere die hybride Materialien oder Nanokomposite auf der Basis von Si-Verbindungen, hergestellt durch das Sol-Gel-Verfahren, besonders für das erfindungsgemäße Halbleitersystem geeignet sind und die bei den Anwendungen geforderte Licht- und Langzeitstabilität besitzen. Als besonders vorteilhaft hat sich erwiesen, dass die durch die Partikel eingeprägte mikrostrukturierte Oberflächenmorphologie im μm -Bereich die Haftung von Schmutzpartikeln deutlich verringert, so dass "nahezu selbstreinigende" Oberflächen entstehen. Auf Grund des geringen Brechungsindex von ca. 1,5 bei 550 nm konnte durch diese Beschichtungen die Reflexion deutlich verringert werden.

[0065] Es ist ein besonderer Vorteil der Erfindung, durch spezielle Ausführungen des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes eine bessere Ausnutzung sowohl der Intensität als auch des Spektralbereiches des einfallenden Lichtes zu ermöglichen. Dies wird am Beispiel der im folgenden beschriebenen Ausführungsformen erläutert.

[0066] Um bei den sehr kleinen geometrischen Abmessungen – wie sie bei den halbleitenden Mikropartikeln vorliegen – das Sonnenlicht effektiv zu nutzen, sind insbesondere bei Verwendung von Halbleitern mit indirekter Bandlücke zusätzliche Maßnahmen erforderlich. So weist monokristallines bzw. polykristallines Silizium (indirekter Halbleiter) gegenüber Halbleitern mit einem direkten Bandgap eine mitunter um Größenordnungen geringere Absorption auf. Zur vollständigen Absorption der Sonnenstrahlung im langwelligeren Spektralbereich (ca. 600 nm bis 1100 nm) werden deshalb große optische Weglängen oder Dicken von bis zu mehreren Hundert μm benötigt. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass durch die Mikropartikel keine 100%ige Abdeckung der Oberfläche möglich ist. Zwischen den Partikeln verbleiben Zwischenräume, die ohne weitere Maßnahmen zu optischen Verlusten führen können.

[0067] Durch weitere Ausführungen der Erfindung in den stilisierten Fig. 2a bis c werden Varianten der Erfindung beschrieben, die zu einer deutlichen Reduzierung der Strahlungsverluste führen. Wegen des ganzflächig angeordneten Metallträgers auf der Rückseite (2) wird die einfallende Strahlung sehr effektiv reflektiert. Schon bei leicht schräg einfallendem Licht (S1 in Fig. 2a) erfolgt eine Reflexion des Lichtes an der Grenzfläche Isolatorschicht (4) – Metallträger (2) in der Weise, dass das Licht in benachbarte Teilchen "injiziert" wird und dort für die Generation weiterer Ladungsträger zur Verfügung steht. Aber auch an der Grenzfläche Halbleiterpartikel (1) – Metallunterlage (2) liegt ein deutlich größerer Reflexionskoeffizient vor (S2 und S3). Von Vorteil erweist sich dabei die Verwendung von Aluminium. Auf Grund der hervorragenden optischen Eigenschaften von Al wird das gesamte Sonnenspektrum nahezu spektral unabhängig bei gleichzeitig hohen Reflexionskoeffizienten reflektiert.

[0068] Pällt das Licht nun nahezu senkrecht in die Zwischenräume zwischen den Halbleiterpartikeln wird dieses normalerweise ungenutzt reflektiert (siehe S4 in Fig. 2a).

Um auch diesen Lichtanteil zu nutzen, wurde ein mehrstufiger Herstellprozess für die Isolatorschicht (4) durchgeführt. Bei geeigneter Wahl der Prozessparameter (Säuremischung, Konzentration, Temperatur, Spannung usw.) wurde zunächst eine sehr poröse, jedoch noch nichtabsorbierende Aluminiumoxidschicht (4-1 in Fig. 2b) erzeugt. Nach Erreichen der gewünschten Dicke wurden die Parameter so geändert, dass man – zum Schutz des Trägermaterials für die nachfolgenden Prozessschritte – eine dichte und gegenüber den einzusetzenden chemischen Reagenzien stabile Schicht ausreichender Dicke (bis ca. 0,5–1 µm; siehe (4-2) in Fig. 2b) aufwachsen lässt. Die Porösität der Schicht (4-1) lässt sich so einstellen, dass eine Streuung des einfallenden Lichtes möglich ist. Das bei dieser Ausführung nahezu senkrecht in die Zwischenräume einfallende Licht lässt sich nunmehr optimal nutzen, wie in Fig. 2b dargestellt ist. Ein positiver Nebeneffekt besteht darin, dass sich auf Grund der Porösität der Brechungsindex der Teilschicht (4-1) gezielt verringern lässt (auf ca. 1,45 bis 1,52 bei 550 nm). Auf diese Weise können die Reflexionsverluste bei Eintritt des Lichtes in die Al₂O₃-Schicht weiter minimiert werden. Die dargestellte Ausführung hat sich unter wirtschaftlichen und verfahrenstechnischen Gesichtspunkten sowie zur Vermeidung zusätzlicher parasitärer Verunreinigungen als besonders geeignetes Verfahren erwiesen. Auch Kombinationen der Isolatorschicht (4) mit darüber liegenden, mindestens teilweise transparenten organischen, anorganischen und/oder hybriden Materialien lassen sich verwenden.

[0069] In einem weiteren Beispiel der erfindungsgemäßen Ausführungen wurden zusätzliche Materialien (8) als Streuzentren in die poröse Teilschicht (4-1) eingebracht. Die zusätzlichen Streuzentren ließen sich durch Einschleimen einerseits von möglichst nichtabsorbierenden Mikropartikeln von wenigen µm Dicke (Polymere, Oxide, Nitride usw.; siehe (8) in Fig. 2b) mit einem Brechungsindex verschieden von dem der porösen Teilschicht (4-1) und andererseits von gut reflektierenden Metallpartikeln (Al, Ag usw.) generieren.

[0070] In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführung wurden die Grenzfläche Isolatorschicht (4) – Metallunterlage (2) gezielt aufgeraut, um dort eine diffuse Reflexion zu erzeugen. Durch eine geeignete Prozessführung direkt während der selektiven Konvertierung des Aluminiums konnte dies umgesetzt werden.

[0071] Einige der für solare Anwendungen einzusetzenen Halbleiterpartikel weisen im blau-violetten Wellenlängenbereich (ca. < 450 nm) eine geringere Spektralempfindlichkeit auf. Ein Ansatz, diesen Spektralbereich effektiver zu nutzen, besteht in der spektralen Sensibilisierung, z. B. durch die Adsorption von geeigneten organischen Materialien usw.. Ein weiterer ist darin zu sehen, fluoreszierende anorganische und/oder organische Stoffe (siehe (9) in Fig. 2c) zur "Konvertierung kurzwelliger in längerwelligere Strahlung" einzusetzen. Durch die gezielte Herstellung der porösen Aluminiumoxidmatrix (4-1 in Fig. 2c) ließen sich derartige Materialien problemlos durch die bekannten Verfahren einbringen. In Fig. 2c ist beispielhaft diese Situation schematisch dargestellt. Das in die Zwischenräume zwischen den Halbleiterpartikeln direkt einfallende (S6) oder in diesen Bereich hinein reflektierte (S7) Licht wird von den fluoreszierenden Materialien (9) absorbiert und danach in alle Richtungen wieder emittiert. Da jedoch nur ein verhältnismäßig geringer Anteil des einfallenden Lichtes in diese Zwischenräume gelangt, sollten diese Stoffe auf Grund des geringen Fluoreszenzwirkungsgrades bevorzugt in oberhalb von den Halbleiterpartikeln liegende Schichten eingefügt werden.

[0072] Darüber hinaus ließ sich durch das Einbringen von

farbigen anorganischen und/oder organischen Stoffen (Pigmente, Farbstoffe) eine gewisse Farbgestaltung von flächig angeordneten Halbleiterpartikelarrays erreichen, die z. B. für architektonische Anwendungen im Bereich der Fassade usw. von Interesse sind.

[0073] Die zusätzliche Einlagerung derartiger Partikel und die damit erreichbaren Vorzüge lassen sich erfindungsgemäß auch auf die beschriebenen vorderseitigen Funktionsschichten übertragen.

[0074] In Fig. 3 ist eine weitere Ausführung der erfindungsgemäßen Halbleitereinrichtung dargestellt. In dieser Variante wird das Trägermaterial (4) zwischen den Halbleiterpartikeln vollständig durchoxidiert. Bei geeigneter Wahl der Prozessparameter und Dicke des Trägermaterials lässt sich erreichen, dass der Bereich des ohmschen Kontaktes (3) chemisch nicht konvertiert wird und gleichfalls der notwendige elektrische Kontakt (10) verbleibt. Befindet sich nun auf der Unterseite des Trägermaterials ein transparentes Material, kann die erfindungsgemäße Halbleiteranordnung zusätzlich von hinten beleuchtet werden (vergl. Fig. 3a). Vorteilhaft ist es, für die Schicht bzw. den Träger oder einen Teil derer (11) ein transparentes leitfähiges Material (ähnlich zu 6) zu verwenden, um eine gute elektrische Verbindung zwischen den Halbleiterpartikeln herzustellen.

[0075] Wird nun zusätzlich auf den Träger eine geringere Dichte an Halbleiterpartikeln aufgebracht, so lässt sich die Halbleiteranordnung so ausgestalten, dass eine gewisse Lichtdurchlässigkeit verbleibt (vergl. Fig. 3b). Hierdurch wird die Effizienz der Halbleiteranordnung gegenüber einer mit nahezu 100%-iger Belegungsichte vermindert. Es gibt jedoch Anwendungen, bei denen dieser Nachteil zu Gunsten der Lichtdurchlässigkeit in Kauf genommen wird.

[0076] Ein mögliches Anwendungsfeld besteht z. B. in semitransparenten Isolierverglasungen oder Fassadenteilen von Gebäuden, in Fahrzeugen usw.. Eine derartige Isolierverglasungseinheit besteht im einfachsten Fall (vergl. Fig. 3c-1) aus mindestens zwei Gläsern 12a–b, die durch Abstandhalter (14) räumlich voneinander getrennt und mit einer zusätzlichen Randversiegelung gegenüber äußeren Einflüssen geschützt sind. Wird nun z. B. auf die in den Zwischenraum gerichtete Seite der lichtabgewandten Scheibe 12a die erfindungsgemäße Halbleiteranordnung (13) aufgebracht, kann ein gewisser Sonnenschutz bei gleichzeitiger Lichtdurchlässigkeit und Stromgewinnung erreicht werden. Die Lichtdurchlässigkeit bzw. der Sonnenschutz lassen sich bedarfsgerecht durch die Belegungsichte der Halbleiterpartikel (15) (vergl. Ausschnittdarstellung in Fig. 3c-2) auf dem Trägermaterial in weiten Bereichen einstellen. Besonders vorteilhaft wirkt sich die geringe Größe der Halbleiterpartikel aus. Bei mittleren "mikroskopischen" Partikelabmessungen von nur ca. < 100 µm lassen sich die Halbleiterelemente nahezu nicht mehr mit bloßem Auge auflösen, so dass auf "makroskopischer Skala" ein sehr gleichmäßiger visueller Eindruck entsteht.

[0077] Durch andere Varianten – unter Einbeziehung von z. B. beschichteten Gläsern, Sicherheitsgläsern usw. – kann darüber hinaus eine Kombination mit Wärmeschutz, Farba, Statik, Sicherheit usw. erfolgen.

[0078] In besonders vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung lassen sich weitere Prinzipien der Halbleitertechnik, die an sich bekannt sind und daher hier nicht näher erläutert werden, anwenden. So hat sich gezeigt, dass auch andere Methoden, als die beschriebene, zur Ausbildung des p/n-Überganges eingesetzt werden können. Die erfindungsgemäße Halbleiteranordnung kann anstatt des p/n-Überganges andere Übergangstypen, wie Metall-Halbleiter-Übergänge (Schottky-Typ), Heteroübergänge, Metall-Isolator-Übergänge sowie auch eine MIS-Struktur enthalten. Auch die

gleichzeitige Kombinationen mehrerer Halbleiteranordnungen ist möglich. Für die Erzeugung dieser Ausführungen lassen sich die bekannten Materialien und Herstellverfahren verwenden.

[0079] Die Verwendungsmöglichkeiten der Erfindung bestehen neben den Anwendungen als Solarzellen auch in großflächigen Anordnungen für Lichtsensoren, für Displays, für lichtemittierende Elemente, für Bauelemente, bei denen ein latentes Bild erzeugt wird usw..

[0080] Ein besonderer Vorteil der Erfindung liegt in ihrer Verwendung in elektrochemischen Zellen. Werden auf die reduzierende Elektrode der Halbleiteranordnung katalytisch wirksame Stoffe aufgebracht, so lässt sich die erfindungsgemäße Halbleiteranordnung zur photokatalytischen Dissoziation von Elektrolyten nutzen. Es ist bekannt, dass zur Erzeugung von gasförmigem Wasserstoff z. B. Ru, Ir, Ni, Pt oder ähnliche Materialien bzw. Pd, Rh oder ähnliche Materialien zur Photoreduktion von CO_2 zu CH_4 geeignet sind. Diese katalytischen Systeme sind auf der Basis der Erfindung herstellbar. Die aus der Elektrolytdissoziation gewonnenen Gase werden dann gesammelt, gelagert oder anderweitig zur Energiegewinnung genutzt. Die metallischen Katalysatorschichten sind als halbdurchlässige Schicht (Schichtdicken $< \text{ca. } 80 \text{ nm}$) aufzubringen, um das einfallende Licht optimal zu nutzen. Die für den jeweiligen Elektrolyten erforderlichen Spannungen werden durch die Anordnung bzw. elektrische Verschaltung der Halbleiterelemente realisiert.

[0081] In einer weiteren Variante wird auf die reduzierende Elektrode eine photokatalytisch wirkende n-Halbleiterschicht (z. B. Titandioxid oder ähnliche) durch bekannte Verfahren aufgebracht. Die Halbleiteranordnung selbst wirkt letztendlich bei der Photokatalyse von Wasser als Bias zur gezielten Verschiebung des Oxidationspotentials. Da auf Grund der relativen großen Bandlücke des TiO_2 (ca. $3,0 \text{ eV}$) nur der Spektralbereich $< 400 \text{ nm}$ absorbiert wird, ist das TiO_2 zusätzlich durch geeignete Stoffe für den langwelligeren Spektralbereich zu sensibilisieren.

[0082] Je nach dem Typ des eingesetzten Halbleitermaterials ergeben sich am p/n-Übergang unterschiedliche Spannungswerte. Bei Verwendung von Silizium wird an jedem Halbleiterpartikel eine Spannung von ca. $0,5 \text{ V}$ erhalten. Die pro Si-Halbleiterpartikel erreichbaren Stromwerte liegen typischerweise im Bereich von einigen μA bei Partikelabmessungen von ca. $200 \mu\text{m}$.

[0083] Gerade für Anwendungen im Bereich Photovoltaik ist es einerseits sinnvoll, die Halbleiterpartikel zu Arrays oder Zellen zusammenzufassen, um eine Mindeststromgröße zu erzielen. Andererseits ist durch eine Reihenverschaltung der Arrays oder Zellen im Solarmodul dafür zu sorgen, dass höhere Spannungen abgegriffen werden können.

[0084] Bei Verwendung von Si-Wafern werden die Zellen zum Zwecke der Spannungserhöhung (Serienschaltung zu Modulen) üblicherweise durch zusätzliche externe Leiterfahnen in Reihe geschaltet. Dies ist sehr aufwendig und erfordert erhebliche Investitionen in die Anlagentechnik. Bei Dünnschicht-Solarzellen nutzt man eine integrierte Reihenschaltung aus. Jedoch ist dieses Verfahren wenig flexibel und birgt zudem hohe Qualitätsrisiken.

[0085] Die beschriebenen sowie andere bekannte Verfahren lassen sich grundsätzlich auch auf das erfindungsgemäße Halbleiterbauelementesystem anwenden. Jedoch hat sich gezeigt, dass weitere erfindungsgemäße Varianten vorteilhafter in Bezug auf Kosten und Flexibilität für den hier vorliegenden Fall sind.

[0086] Die Fig. 4a zeigt stilisiert den seitlichen Schnitt durch die erfindungsgemäße Halbleitereinrichtung. Die Halbleiterstruktur wird nun an vorgegebenen Stellen kom-

plett durchstoßen, was durch mechanisches Bohren, Stanzen, Laserablation oder ähnliche Verfahren erfolgen kann. Die Durchmesser der Löcher (16) in Fig. 4b sind möglichst klein (wenige Hundert μm) zu wählen. In die Löcher werden vorgefertigte isolierte Leiterstifte (17) eingebracht und an der Vorderseite ein fester elektrischer Verbund zur leitfähigen Schicht (6) hergestellt. Anschließend wird die Reihenverschaltung über die Leiterbrücken (18) vorgenommen. Gerade bei Arrayabmessungen von nur wenigen Quadratzentimetern können die elektrischen Leitungen in ihren Abmessungen sehr klein und damit für das menschliche Auge nahezu unsichtbar gestaltet werden. Der gesamte Prozess kann vollautomatisch bei minimalem Materialaufwand, gleichzeitig hohem Durchsatz und niedrigen Kosten durchgeführt werden. Als letzter Schritt werden die Arrays durch mechanische oder Laserbearbeitung usw. voneinander elektrisch getrennt, wie in Fig. 4b dargestellt ist. Die Trennstellen (19) können z. B. mit einem isolierenden und gleichzeitig klebenden Material vergossen werden, um auch bei mechanischer Belastung eine sichere elektrische Isolation zu garantieren.

[0087] In besonders vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird bei der Herstellung so verfahren, dass abwechselnd auf definierten Flächen unterschiedliche Halbleiterbauelementtypen (n- und p-Material, vergl. 20-1 und 20-2 in Fig. 4c) aufgebracht werden. Bei dieser Anordnung kann eine integrierte Verschaltung vorgenommen werden. Hierzu müssen lediglich die Elektroden abwechselnd oben 21-1 und unten 21-2 unterbrochen werden, wie aus Fig. 4d hervorgeht. Hierzu lassen sich die schon erwähnten Verfahren verwenden.

[0088] Ein grundsätzliches Problem für alle aus einzelnen Zellen aufgebauten Solarmodulen stellen immer wieder Abschattungen dar. Hierbei handelt es sich um lokale Bereiche auf einem Solarmodul, auf die mindestens zeitweilig kein oder nur sehr wenig Licht fallen kann. Insbesondere bei elektrisch in Reihe miteinander verbundenen Solarzellen kann die Abschattung von nur einer einzelnen Zelle zum Ausfall des gesamten Modules führen. Die Solarzellen, die mit keinem oder nur sehr wenig Licht beaufschlagt werden, wirken strombegrenzend und führen so zu beträchtlichen Energieeinbußen. Oftmals können in Photovoltaikanlagen Energieverluste von bis zu 10% und mehr damit verbunden sein. Darüber hinaus kann bei vollständiger Abdeckung einzelner Zellen der sogenannte Hot-Spot-Effekt auftreten. Dabei können durch Überhitzung die Zellen mitunter vollständig zerstört werden. In der Praxis versucht man diesen Problemen durch schaltungstechnische Teilung der einzelnen Module in sogenannte Stringketten in Kombination mit Bypassdioden bzw. entspr. Vorkehrungen bei der externen Verschaltung zu begegnen (z. B. Zuordnung eines Wechselrichters zu jedem einzelnen Solarmodul). Jedoch sind diese Maßnahmen sehr aufwendig und kostspielig. Es ist auch nicht möglich, von vornherein nahezu alle und vor allem die sich auch u. U. mit der Zeit ändernden Abschattungsbedingungen zu analysieren und zu berücksichtigen. Die Versuche, direkt auf den Wafer-Solarzellen Bypassdioden zu integrieren, haben sich in der Praxis nicht durchsetzen können.

[0089] In einer weiteren Ausführung der Erfindung wird deshalb eine grundsätzliche Vorrichtung vorgeschlagen, durch die diese oder ähnliche Probleme vermieden werden können. Die Lösung sieht vor, den einzelnen Zellen und/oder auch Zellanordnungen spezielle optische Schalter zuzuordnen. Besonders vorteilhaft ist die Verwendung derartiger Schalter bei Zellen oder Arrays mit möglichst geringen elektrischen Leistungen, weil sich (a) die Schaltelemente dann als Mikroschalter ausführen lassen, (b) diese dann auch direkt auf die Zellen integrierbar sind und (c) die opti-

schen Verluste minimiert werden können.

[0090] In den Fig. 5a-c ist exemplarisch eine Anwendung derartiger integrierter optischer Mikroschalter dargestellt. Das beispielhafte Modul besteht aus insgesamt 24, elektrisch voneinander isolierten Zellen oder Halbleiterbauelementarrays. Es ist ein einheitlicher Halbleitertyp zu Grunde gelegt, so dass das in Fig. 4b demonstrierte Verschaltungsprinzip zur Anwendung gelangt. Der Verlauf der Reibenschaltung ist mit aufsteigenden Nummern gekennzeichnet. Die erzeugte elektrische Energie wird dann über die Kontakte (22) abgegriffen. Die elektrische Verbindung der benachbarten Zellen über die leitfähige Trägerschicht bzw. über die elektrisch leitende Vorderseite ist durch 23-1 bzw. 23-2 schematisch wiedergegeben.

[0091] Erfahrungsgemäß sind bei Abschattungen vor allem die Eckbereiche (24) betroffen. Wird nur eine einzelne dieser Zellen total abgeschattet, fällt das gesamte Modul aus. Es wurden nun auf der lichtzugewandten Seite dieser exponierten Zellen (24) Mikroschalter (25) angebracht, wie aus Fig. 5b hervorgeht. Wird nun auf Grund von Abschattungen der Strahlungsfluss auf die Eckbereiche und damit ebenfalls auf die Mikroschalter unterbrochen, werden die betroffenen Zellen über den Mikroschalter elektrisch kurzgeschlossen (siehe Zellen 1-2, 3-4, 13-14, 15-16). Das Modul lässt sich bei einer etwas geringeren Leistung weiter betreiben. Bei komplizierteren Abschattungserscheinungen werden weitere Mikroschalter installiert, wie in Fig. 5c angedeutet ist. Für jeden Anwendungsfall und Bedarf lassen sich beliebige Varianten ableiten.

[0092] Bei den Mikroschaltern handelt es sich um kleine passive optische Schaltelemente, die in Abhängigkeit von der Lichteinstrahlung reversibel eine elektrische Verbindung aufrecht erhalten oder unterbrechen können. Von besonderem Vorteil ist, dass die Mikroschalter direkt auf den Zellen integrierbar sind, so dass die Abschattung lokal und zeitgleich erfasst werden kann. Im Beispiel entspr. Fig. 5b und 5c wurde die Variante gewählt, bei der während der Lichteinstrahlung die elektrische Verbindung der kurzzuschließenden Zellen elektrisch unterbrochen wird. Das Grundprinzip ist für den Schaltungszustand ("Schalterstellung" (26)) ohne bzw. mit Lichteinfall in Fig. 5d-1 bzw. Fig. 5d-2 schematisch dargestellt. Eine sehr einfache Möglichkeit zur Aufbringung der Mikroschalter besteht darin, dass die Elemente auf der Vorderseite der Zellen mittels Bonden, Kleben, Beschichtung oder ähnliche Verfahren (siehe (27) in Fig. 5d) aufgebracht werden. Es ist auch darauf zu achten, dass die Mikroschalter nur eine geringe Bauhöhe aufweisen (möglichst < ca. 300 µm), damit sich diese nicht störend auf die Weiterverarbeitung der Module usw. auswirken. Die Dimensionierung der Kontaktflächen, der Leitungsquerschnitte, des Grenzschaltpunktes usw. ist für den jeweiligen konkreten Anwendungsfall auszulegen.

[0093] Zur Auslösung des eigentlichen Schaltvorganges lassen sich verschiedenste physikalische, chemische oder ähnliche Grundprinzipien verwenden. In einer beispielhaften Ausgestaltungsform werden die durch die Lichteinstrahlung hervorgerufenen thermischen Effekte genutzt. Die Fig. 5e-1 und 5e-2 zeigen eine Anordnung, bei der in der "Dunkelphase" die beiden Leiter (28) und (29) miteinander in Kontakt sind. Der Kontakt (28) ist in diesem Fall als Bimetall ausgelegt. Bei Lichteinstrahlung, wie es in Fig. 5e-2 wiedergegeben ist, bewirkt die Erwärmung von (28) eine Krümmung des Bimetalles oder ähnlichem, so dass die leitende Verbindung unterbrochen wird. Das Fenster (30) ist lichtdurchlässig oder -teildurchlässig auszulegen. In einem weiteren Beispiel entspr. Fig. 5f wird ein Gasvolumen (31) (z. B. Luft) eingeschlossen. Die obere Seite der Kammer ist als lichtteildurchlässige leitfähige Membran (32) ausgebil-

det. Auf der gegenüber liegenden Seite befindet sich ein Lichtabsorbermaterial (33). Im "Dunkelfall" ist die elektrische Verbindung zwischen (28) und (29) durch die Membran gegeben. Wird nun der Mikroschalter beleuchtet, so wird das Licht durch (33) absorbiert. Das Absorbermaterial erwärmt sich und gibt einen Teil der Wärmeenergie an das Gasvolumen weiter. Durch die Ausdehnung des Gases entsteht ein Überdruck, in dessen Folge sich die Membran nach oben wölbt und die elektrische Verbindung zwischen (28) und (29) unterbricht.

[0094] Diese Ausführungen sind nur beispielhaft zu verstehen. Es lassen sich eine Reihe anderer Varianten oder Kombinationen, verbunden auch mit anderen Effekten, ableiten.

[0095] Besonders vorteilhaft sind solche Ausführungen, bei denen der Schaltvorgang nicht durch einen mechanischen Bewegungsablauf erfolgt. So lassen sich erfindungsgemäß auch spezielle optisch aktive Materialien als Mikroschalter verwenden. Derartige Materialien und Verbindungen haben den Vorteil, dass ihre Aufbringung technologisch sehr einfach und kostengünstig ist. Bei den Materialien handelt es sich um Stoffe, die ihre elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom einfallenden Licht - möglichst sprunghaft - ändern. Dies kann sowohl direkt durch die direkte Einwirkung von Licht (z. B. direkte Erzeugung von Ladungsträgern) oder auch durch sekundäre, vom Licht hervorgerufene Effekte (z. B. Erwärmung, Änderung der Löslichkeit in Stoffgemischen, der chemischen Struktur, Änderung der Ausrichtung von leitfähigen Partikeln in Matrices, Agglomeration oder Bildung leitfähiger Phasen usw.) erfolgen.

[0096] In besonders vorteilhafter Ausgestaltung werden Materialien (z. B. Polymere) verwendet, die aus mindestens zwei Komponenten bestehen, wobei mindestens eine davon alleine leitfähig ist. Bis zu einer kritischen Temperatur, die über die Zusammensetzung eingestellt wird, liegt das Material als nicht vermisches, mindestens zweiphasiges System vor und weist in diesem Beispiel eine hohe Leitfähigkeit auf. Durch die Einwirkung von Licht und die damit verbundene Temperaturerhöhung kommt es nahe der kritischen Temperatur zu einer spontanen chemischen Reaktion der Komponenten. Das entstehende Reaktionsprodukt ist hochohmig und bewirkt die angestrebte elektrische Isolation zwischen den Zellen. Bei Reduzierung der Temperatur unterhalb des kritischen Wertes wird wieder der Ausgangszustand erreicht. Diese Variante lässt sich bei geeigneter Materialkombination auch in umgekehrter Weise betreiben oder auch beliebig kombinieren bzw. modifizieren.

[0097] Da die Mikroschalter direkt zwischen den unterschiedlichen Polaritäten der jeweiligen Zellen eingebunden werden (vergl. Fig. 5d), lassen sich auch die bei Lichteinfall auf die Zellen entstehenden Spannungen zum Schalten nutzen.

[0098] Ausgehend von der Erfindung sind vielfältige weitere Kombinationen zwischen den unterschiedlichsten Materialien, Materialeigenschaften und nutzbaren Effekten ableitbar.

[0099] Die beschriebene Mikroschalter-Technik wird vorzugsweise mit den erfindungsgemäßen Halbleitereinrichtungen implementiert, kann erfindungsgemäß aber in vorteilhafter Weise auch bei an sich bekannten, herkömmlichen Solarzellen verwendet werden.

[0100] Die in der vorstehenden Beschreibung, den Zeichnungen und den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausgestaltungen von Bedeutung sein.

1. Halbleitereinrichtung mit einem Schichtaufbau aus einer Trägerschicht (2), die ein elektrisch leitfähiges Trägermaterial aufweist, einer Isolationsschicht (4), die durch elektrisch isolierendes Isolationsmaterial gebildet wird, auf der Trägerschicht (2) angeordnet ist und Halbleiterpartikel (1) enthält, und einer Deckschicht (6), die mindestens ein elektrisch leitfähiges Deckmaterial aufweist und auf der Isolationsschicht (4) angeordnet ist, wobei jeder Halbleiterpartikel (1) sowohl die Trägerschicht (2) als auch die Deckschicht (6) berührt und mindestens einen p-n-Übergang bildet, dadurch gekennzeichnet, dass das Isolationsmaterial durch mindestens eine Metalloxidverbindung gebildet wird, die zumindest teilweise ein Oxid des Trägermaterials enthält.
2. Halbleitereinrichtung gemäß Anspruch 1, bei der das Isolationsmaterial zumindest teilweise durch eine selektive elektrochemische Konvertierung des Trägermaterials oder eines Teils von diesem, vorzugsweise durch anodische oder kathodische Oxidation, ausgebildet ist.
3. Halbleitereinrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, bei der die Halbleiterpartikel in die Isolationsschicht (4) haftend eingebettet sind.
4. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Isolationsschicht (4) eine Mehrfachschicht ist und durch eine Kombination aus einer Schicht mit einer Metalloxidverbindung, die zumindest teilweise ein Oxid des Trägermaterials enthält, und einem darüber liegenden, mindestens teilweise transparenten organischen und/oder anorganischen und/oder hybriden Material gebildet wird.
5. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Isolationsschicht (4) zumindest teilweise porös ist und/oder zumindest teilweise farbige, fluoreszierende und/oder visuell sichtbare organische oder anorganische oder hybride Materialien enthält.
6. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Halbleiterpartikel zumindest teilweise in das Trägermaterial hineinragen.
7. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Halbleiterpartikel zumindest teilweise eine mono- oder polykristalline Struktur besitzen, lokale Dotierungen aufweisen, und/oder einen Aufbau aus einem inneren n- oder p-leitendem Grundkörper und einer äußeren, entgegengesetzt dotierten Hülle oder aus einem n-, p- oder i-leitenden Material besitzen.
8. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Halbleiterpartikel einlagig und in geometrisch ungeordneter Weise auf der Trägerschicht (2) angeordnet sind.
9. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Halbleiterpartikel aus einem Halbleitermaterial mit indirekter Bandlücke bestehen und eine charakteristische Querschnittsgröße von weniger 350 µm, vorzugsweise kleiner als 200 µm besitzen, aus einem Halbleitermaterial mit direkter Bandlücke bestehen und eine charakteristische Querschnittsgröße von weniger als 100 µm, vorzugsweise 1 µm bis 50 µm, besitzen, oder aus einem Gemisch aus diesen Halbleitermaterialien bestehen.
10. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der als Halbleiterpartikel photovoltaisch aktive Halbleitermaterialien, deren Verbindungen und Heterostrukturen mit einer Bandlücke verwendet werden, die kleiner als 2.0 eV ist.

11. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Halbleiterpartikel aus einem Halbleitermaterial bestehen, das aus einer oder mehreren der folgenden Gruppen ausgewählt ist: IV-wertige Halbleiter, vorzugsweise Silizium, deren Verbindungen und Heterostrukturen, II-VI Halbleiter, deren Verbindungen und Heterostrukturen, III-V Halbleiter, deren Verbindungen und Heterostrukturen, und Verbindungen von Elementen der Hauptgruppen I-IV, z. B. Cu₂S/CdS, oder I-III-VI, z. B. die Chalkopytite Cu(In, Ga)-Selenide oder Sulfide und deren Heterostrukturen mit II-VI-Verbindungen, z. B. (Zn,Cd)S.
12. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der ein p-n-Übergang gebildet wird: bei p-dotierten Halbleiterpartikeln durch Donatoren, äußere n-leitende Schichten und/oder eine Invertierung des Halbleitertyps, oder bei n-dotierten Halbleiterpartikeln durch Akzeptoren und/oder äußere p-leitende Schichten.
13. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der anstelle der p-n-Übergänge Metall-Halbleiter-Übergänge (Schottky-Typ), Heteroübergänge, Metall-Isolator-Übergänge oder MIS-Strukturen vorgesehen sind.
14. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Träger- und Deckschichten optisch transparent sind und eine beidseitige Beleuchtung der Halbleiterpartikel in der Isolationsschicht ermöglichen.
15. Halbleitereinrichtung gemäß Anspruch 14, bei der die Lichtdurchlässigkeit des gesamten Schichtaufbaus durch die Belegungsdichte der Halbleiterpartikel in der Isolationsschicht eingestellt ist.
16. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Deckschicht (6) eine elektrische Gegenelektrode zur Trägerschicht (2) bildet und aus einem transparenten oder semitransparenten, elektrisch leitfähigen Material besteht und dotierte leitfähige Oxide, Metalle, Metallverbindungen, leitfähige Polymere, Nanokomposite, Hybridmaterialien oder Kombinationen aus diesen Materialien enthält.
17. Halbleitereinrichtung gemäß Anspruch 16, bei der die Deckschicht reflexionsmindernd ist und/oder auf der zur Isolationsschicht (4) entgegengesetzten Seite zusätzliche Funktionsschichten trägt, die reflexionsmindernde Schichten oder Schichtsysteme, widerstandsvermindernde Metallgitterstrukturen, Schichten mit farbigen, fluoreszierenden und/oder visuell wirksamen organischen, anorganischen und/oder hybriden, aus organischen und anorganischen Stoffen kombinierten Materialien, und/oder Schichten aus Substanzen mit hydrophilen oder hydrophoben Eigenschaften umfassen.
18. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der zwischen der Trägerschicht (2) und der Isolationsschicht (4) eine Haftschrift eingebracht ist und/oder das Trägermaterial haftfördernde Substanzen enthält.
19. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Trägermaterial aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen besteht.
20. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Schichtaufbau kataly-

tisch wirksame Stoffe, z. B. Ru, Ir, Ni, Pt, Pd, Rh, TiO_2 oder SrTiO_2 enthält.

21. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der mehrere Schichtaufbauten aus Träger-, Isolations- und Deckschichten stapelförmig übereinander angeordnet sind. 5

22. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der mehrere Zellen, die jeweils durch einen Schichtaufbau aus Träger-, Isolations- und Deckschichten mit jeweils mehreren Halbleiterpartikeln gebildet werden, elektrisch in Reihe geschaltet sind und eine Mehrzellenstruktur bilden. 10

23. Halbleitereinrichtung gemäß Anspruch 22, bei der die Mehrzellenstruktur eine integrierte Reihenverschaltung aus photovoltaischen Zellen unterschiedlichen Leitungstyps enthält. 15

24. Halbleitereinrichtung gemäß Anspruch 22 oder 23, bei der in der Mehrzellenstruktur passive optische Mikroschalter zur zumindest zeitweiligen Überbrückung einzelner Zellen in der Reihenschaltung vorgesehen sind. 20

25. Halbleitereinrichtung gemäß Anspruch 24, bei der die Mikroschalter direkt in den Schichtaufbau benachbarter Zellen integriert sind, zwischen den benachbarten Zellen eine elektrische Verbindung reversibel aufrechterhalten und unterbrechen und zum Umschalten auf der Grundlage lichtinduzierter physikalischer oder chemischer Effekte eingerichtet sind. 25

26. Halbleitereinrichtung gemäß Anspruch 24, bei der die Mikroschalter optisch aktive Materialien enthalten, deren elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit von einer einfallenden Lichtintensität sprunghaft veränderlich ist. 30

27. Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, die eine großflächige Anordnung von Solarzellen, Lichtsensoren, Displays, lichtermittierenden Elementen, elektrochemischen Zellen oder bilderzeugenden Bauelementen bildet. 35

28. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitereinrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Isolationsschicht (4) zumindest teilweise durch eine selektive elektrochemische Konvertierung des Trägermaterials oder eines Teils von diesem, vorzugsweise durch anodische oder kathodische Oxidation, erzeugt wird. 40 45

29. Verfahren gemäß Anspruch 28, bei dem das Aufbringen der Halbleiterpartikel auf das Trägermaterial unter Wärmeeinwirkung und/oder unter einer leicht reduzierenden Atmosphäre erfolgt.

30. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 28 oder 29, bei dem zur Bildung der Halbleiterpartikel Ausgangsmaterial verwendet wird, das mit an sich bekannten Kristallzüchtungs- und Herstellungsverfahren erzeugt worden ist. 50 55

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

60

65

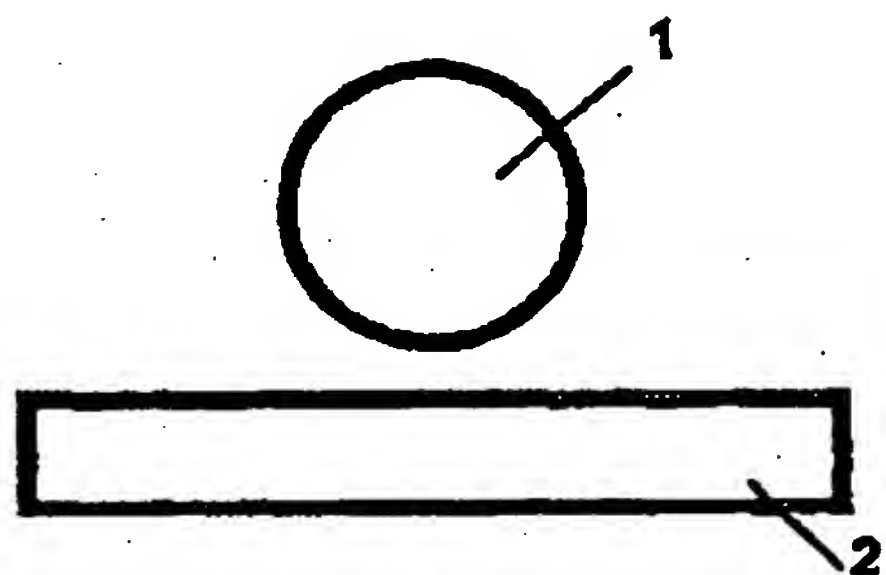


Fig. 1a

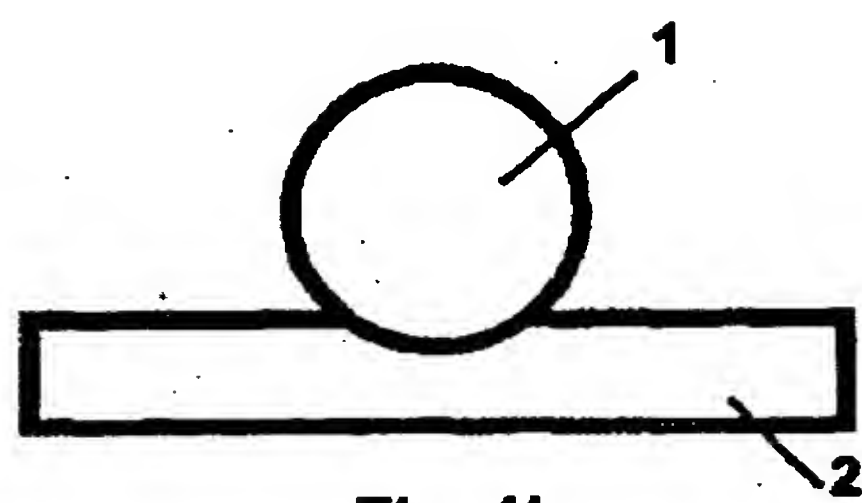


Fig. 1b

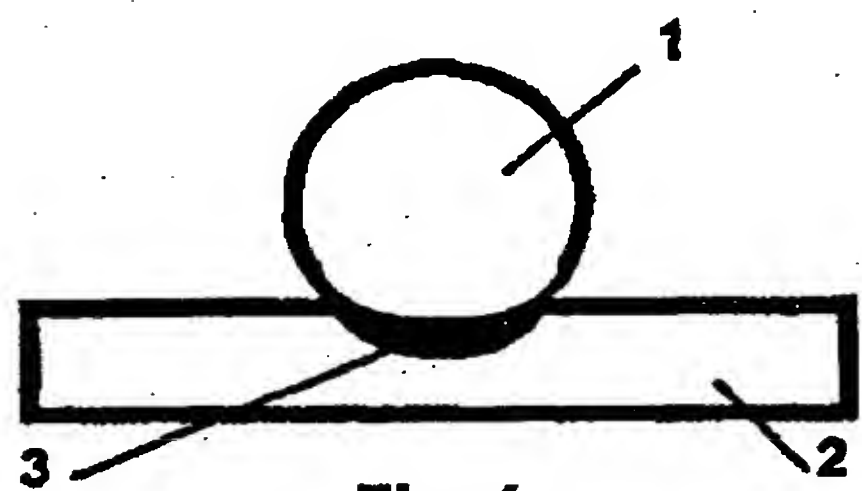


Fig. 1c

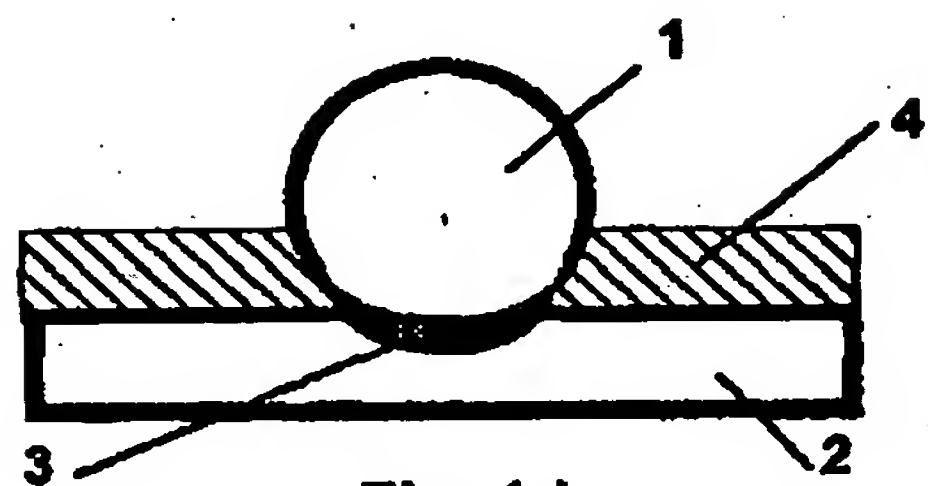


Fig. 1d

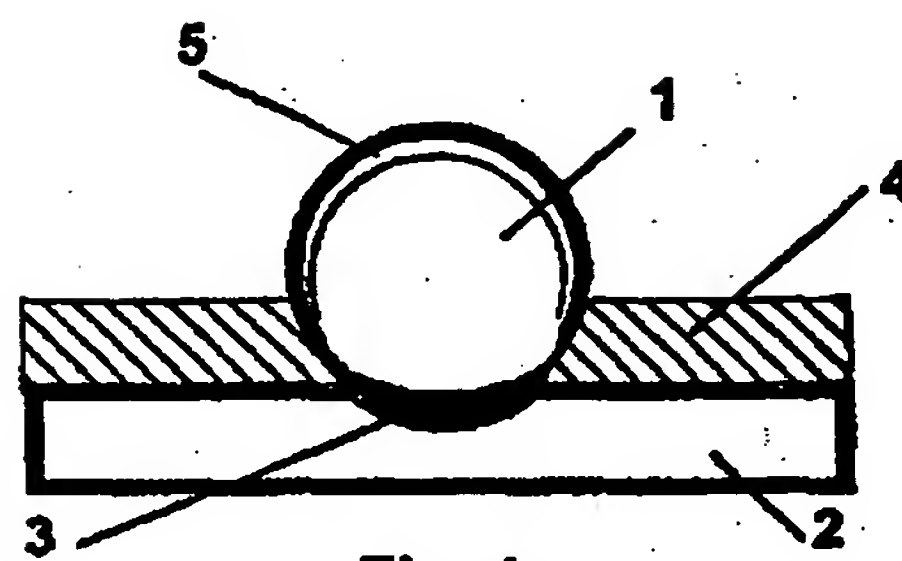


Fig. 1e

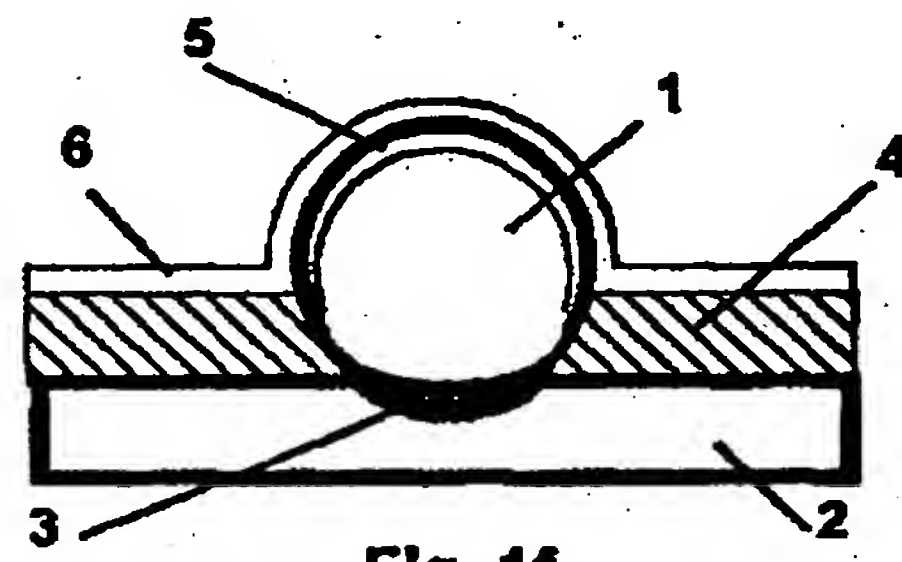


Fig. 1f

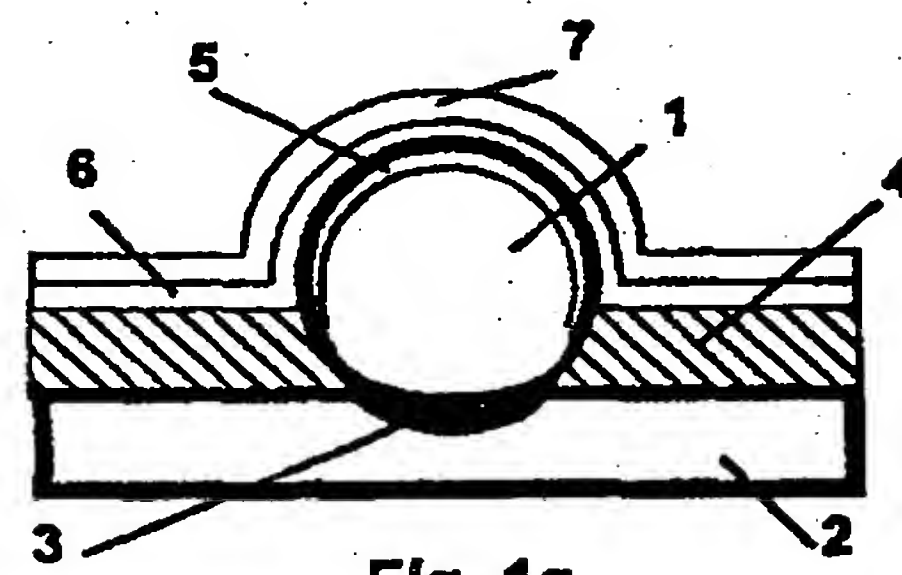


Fig. 1g

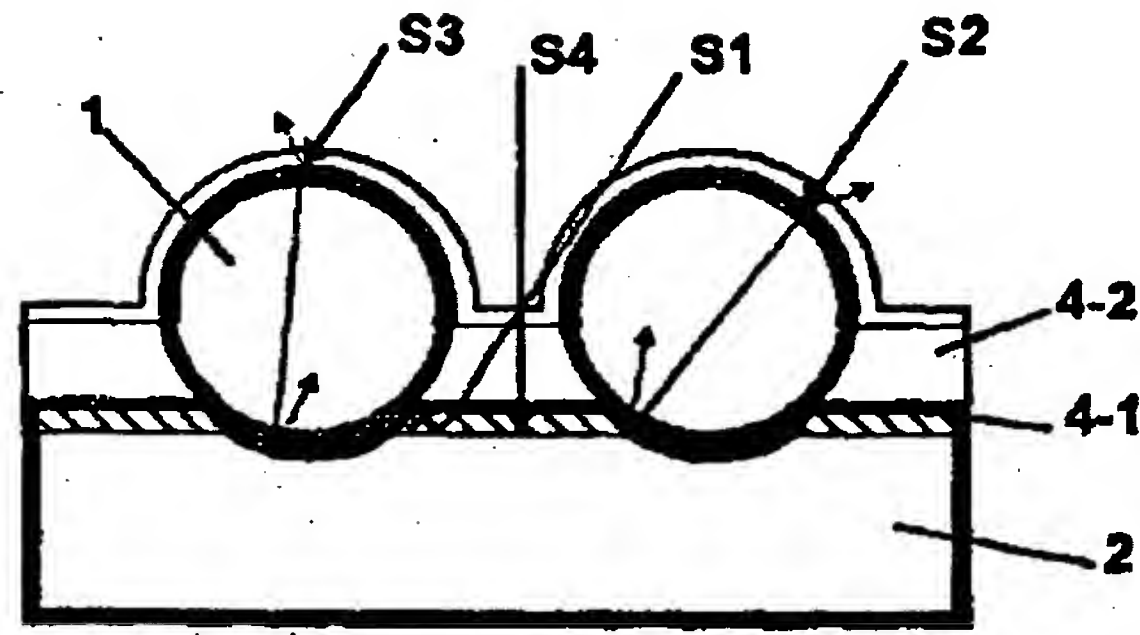


Fig. 2a

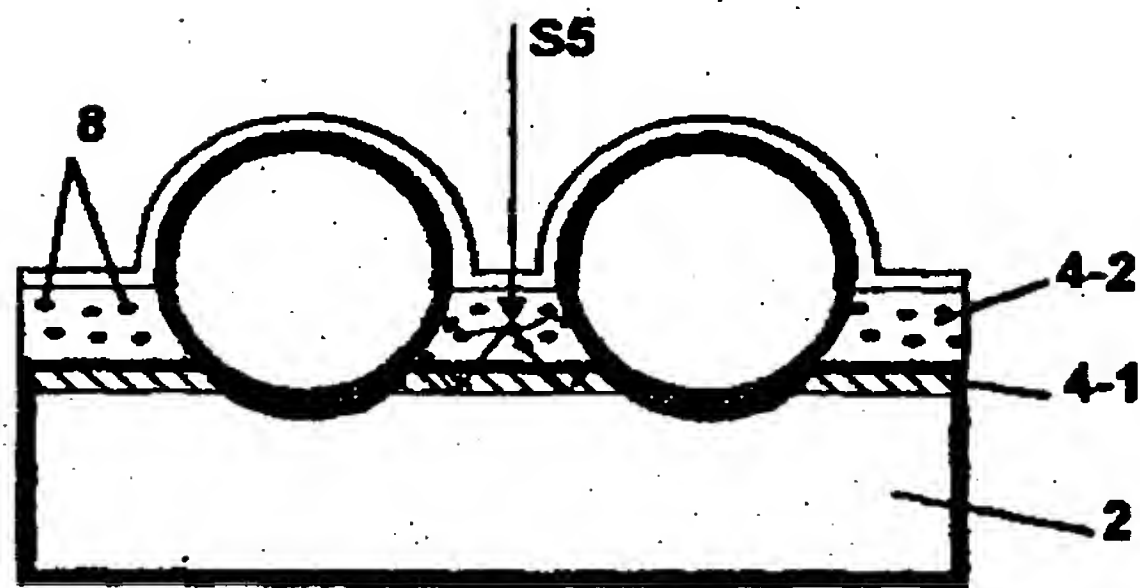


Fig. 2b

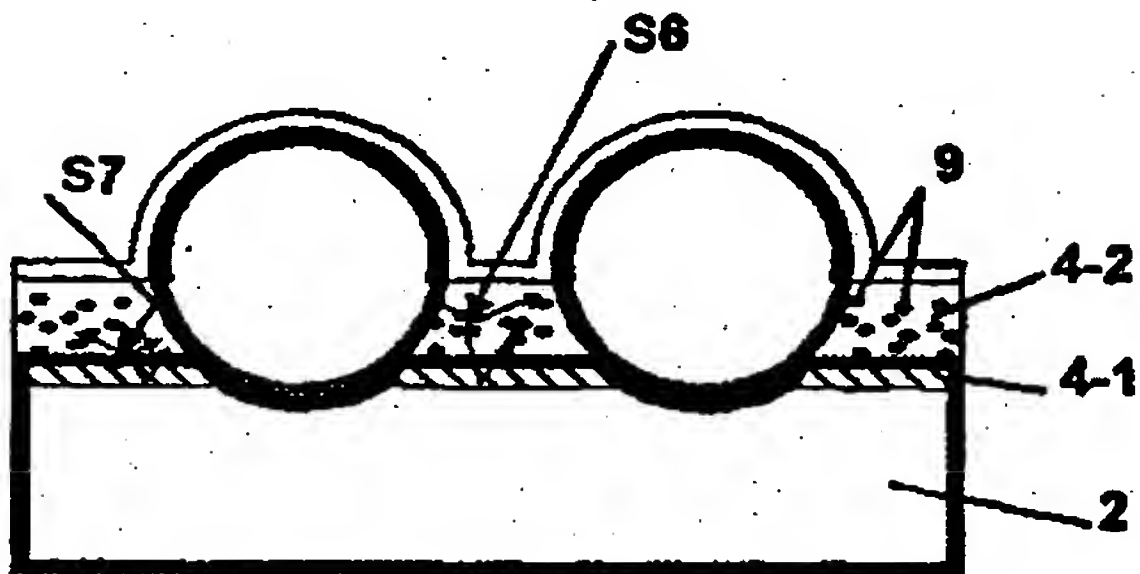


Fig. 2c

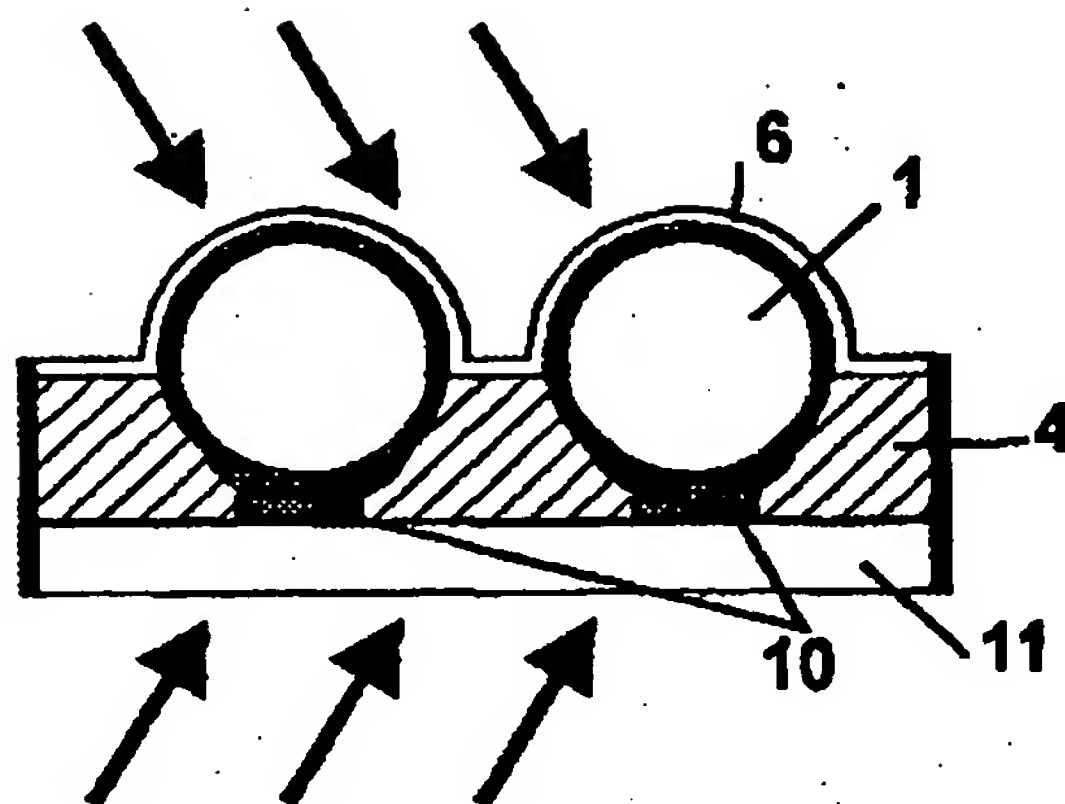


Fig. 3a

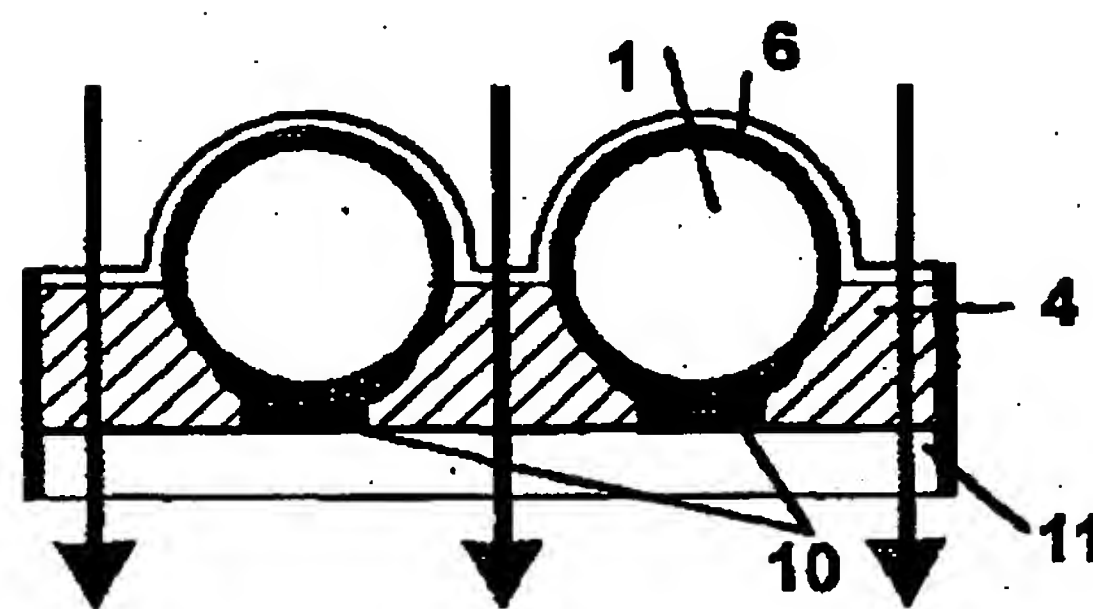


Fig. 3b

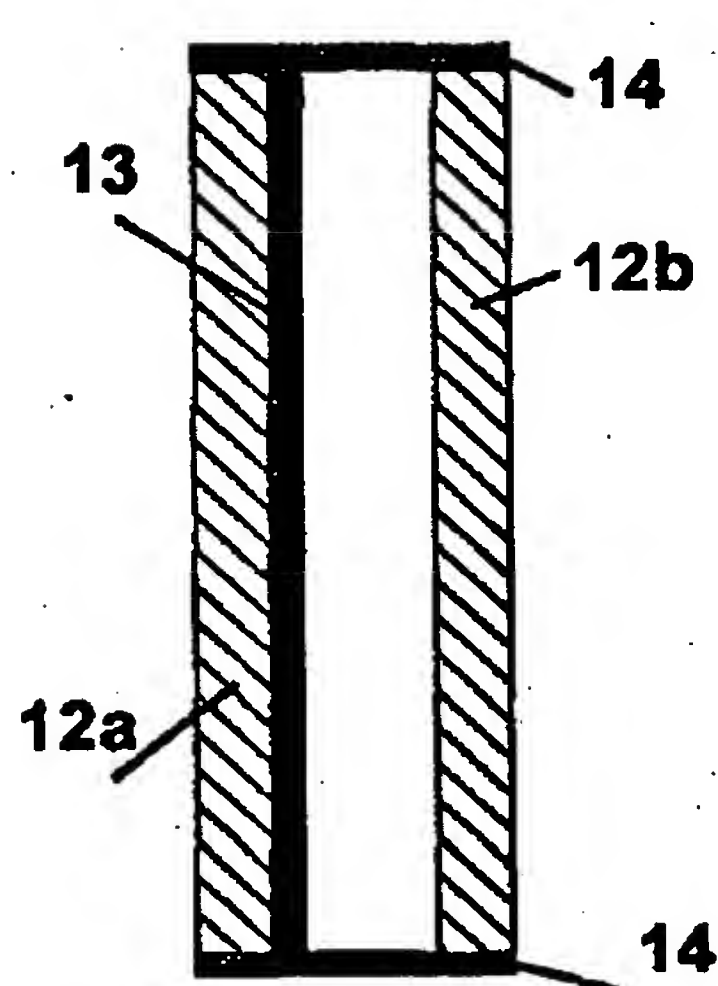


Fig. 3c-1

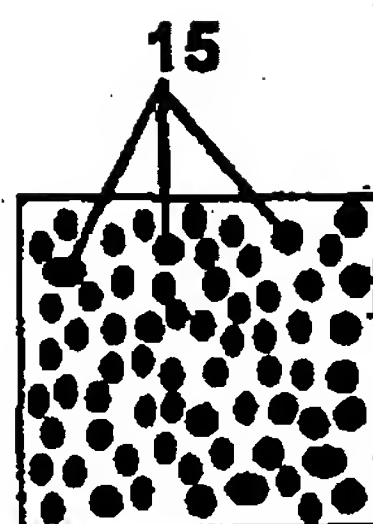


Fig. 3c-2

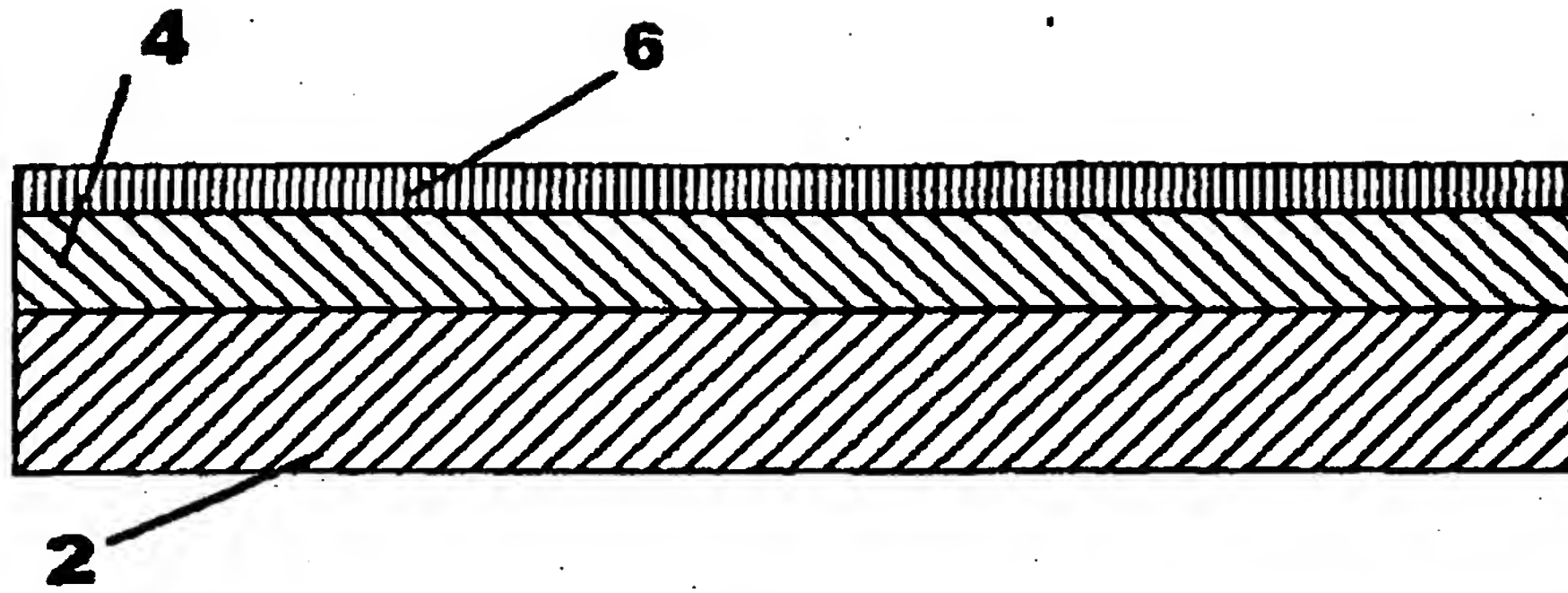


Fig. 4a

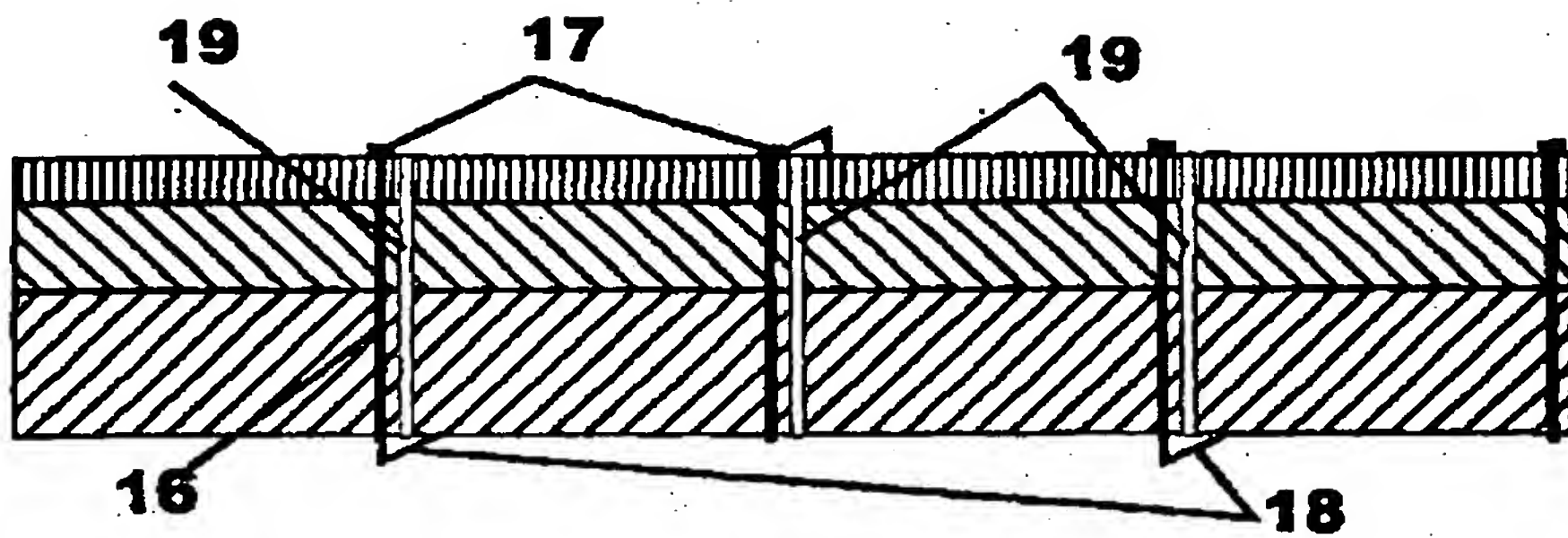


Fig. 4b

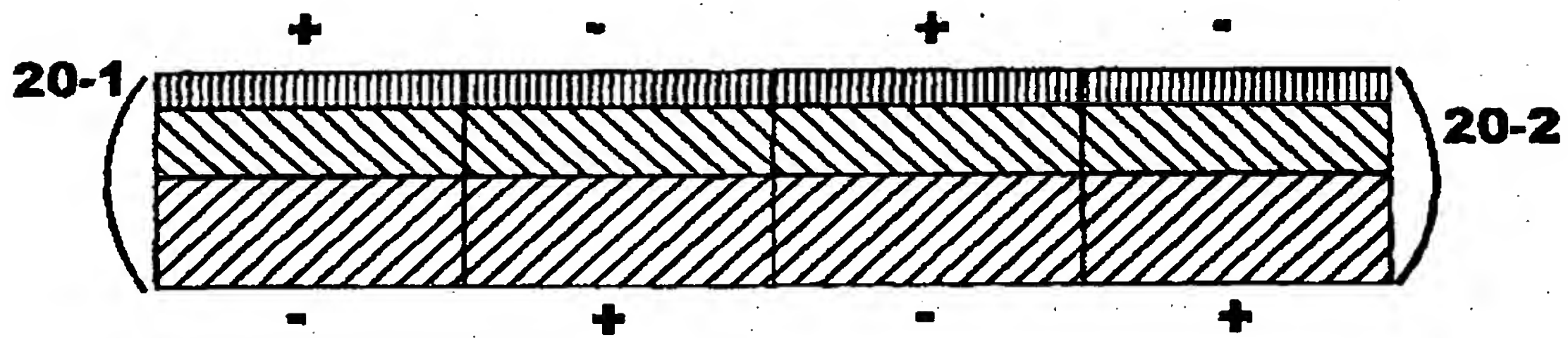


Fig. 4c

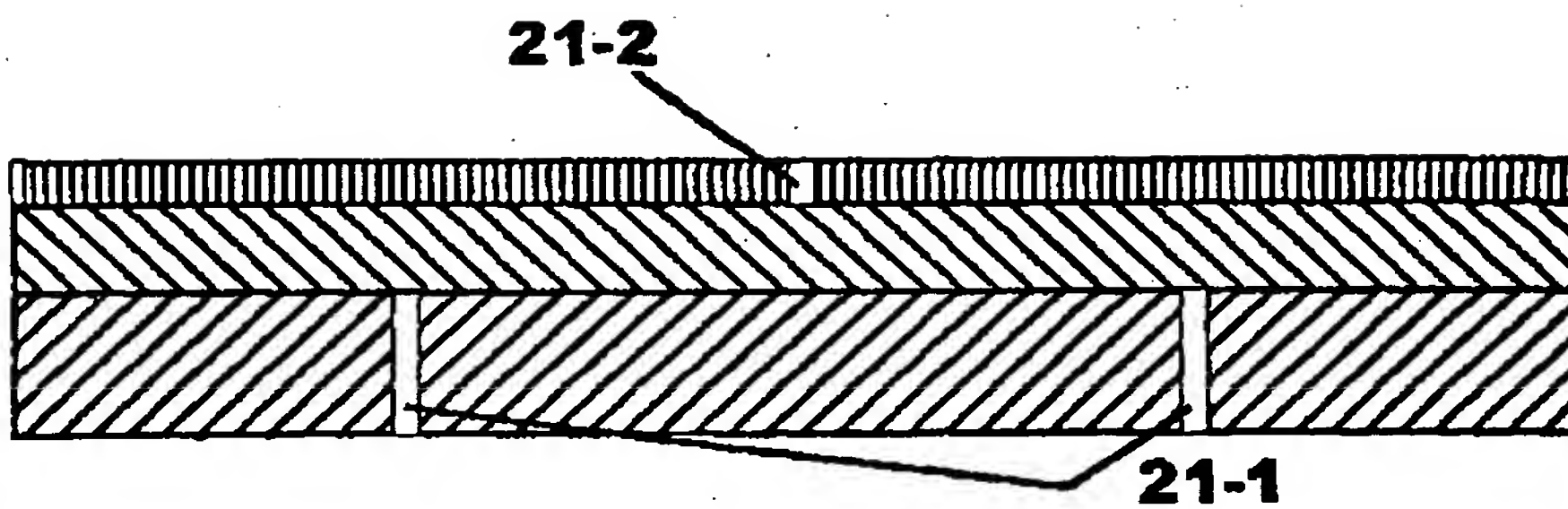


Fig. 4d

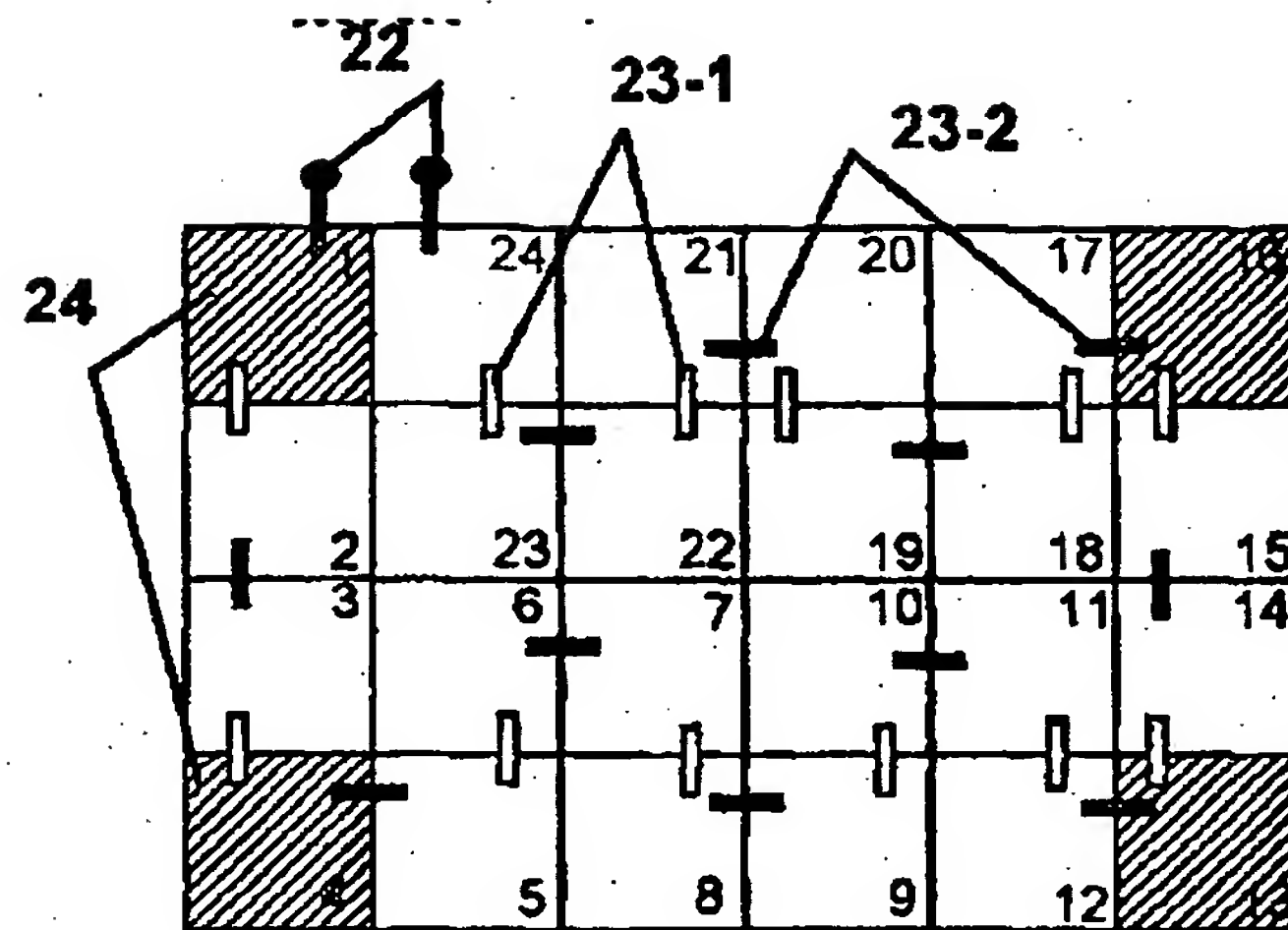


Fig. 5a

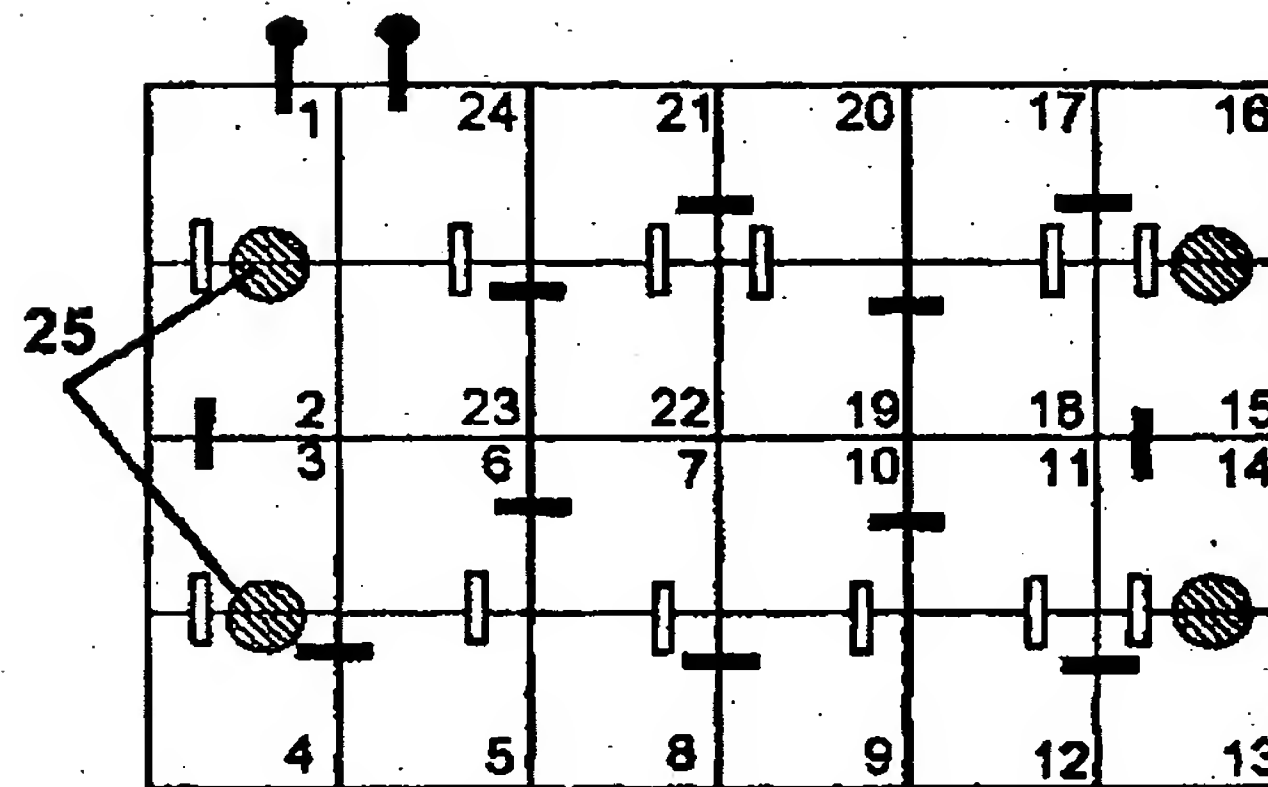


Fig. 5b

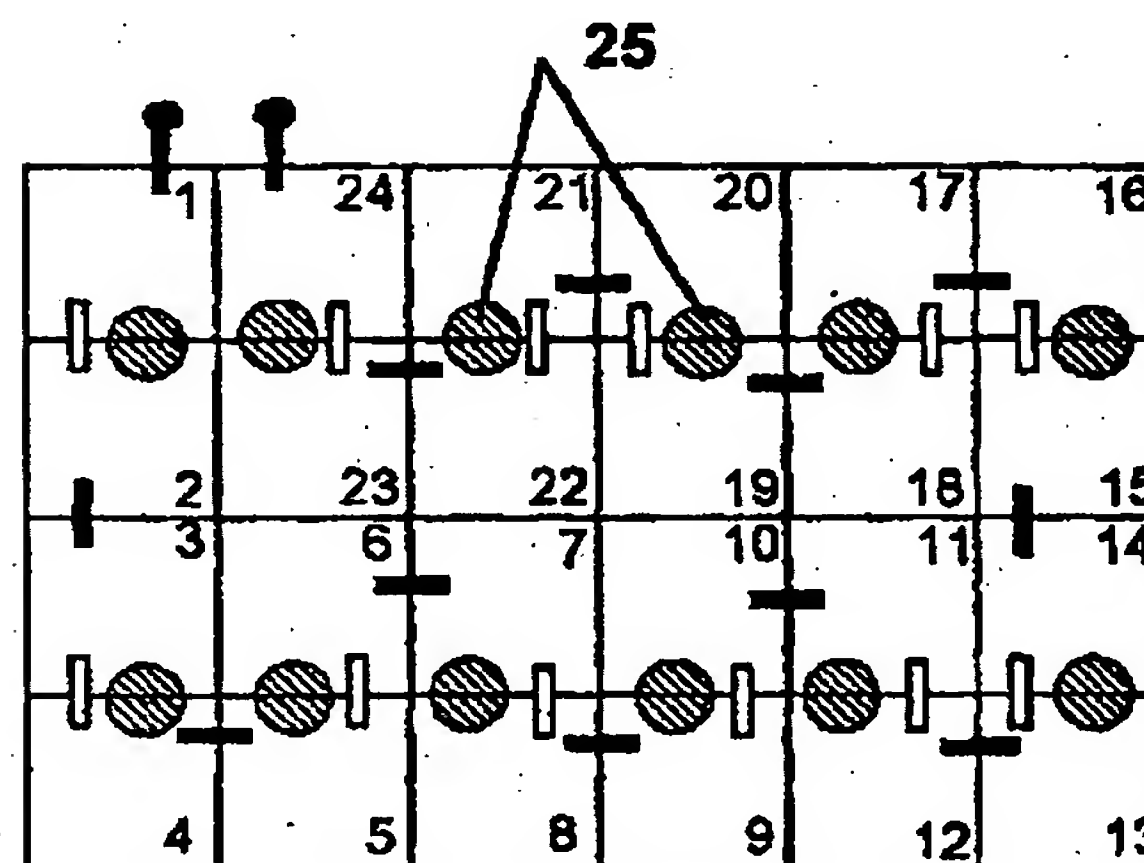


Fig. 5c

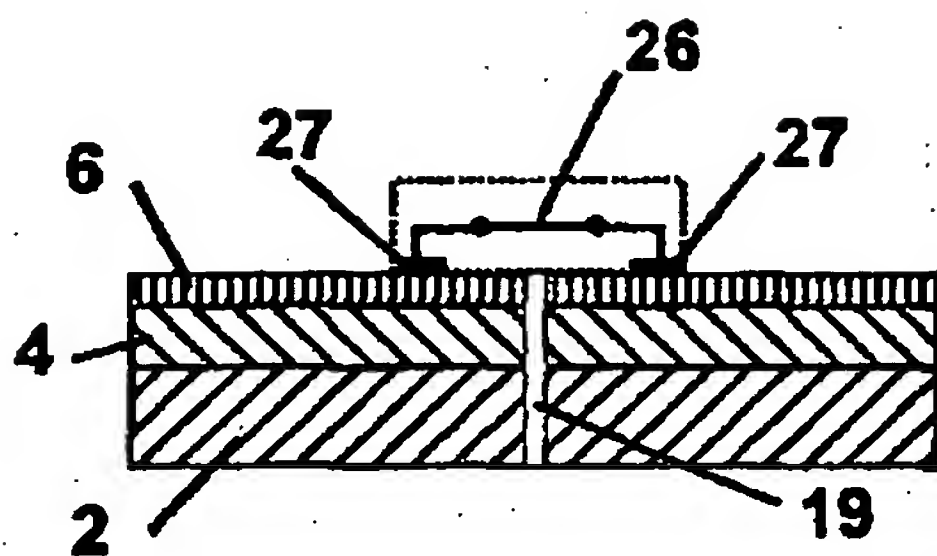


Fig. 5d-1

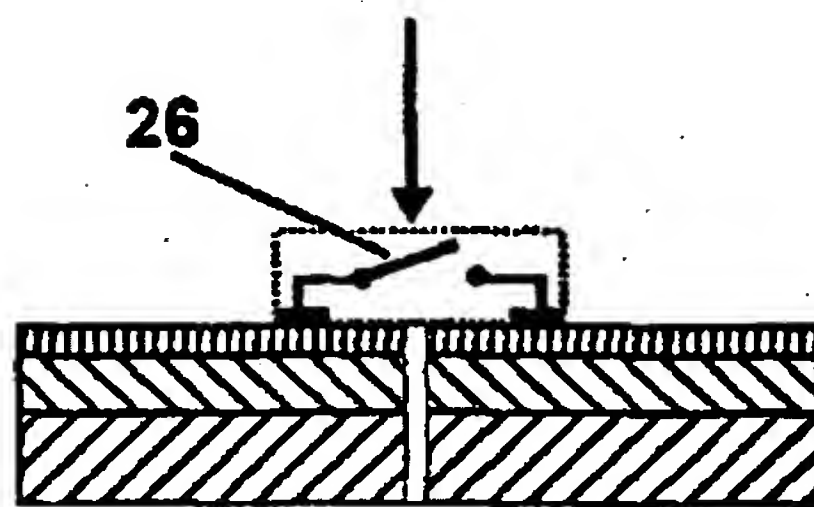


Fig. 5d-2

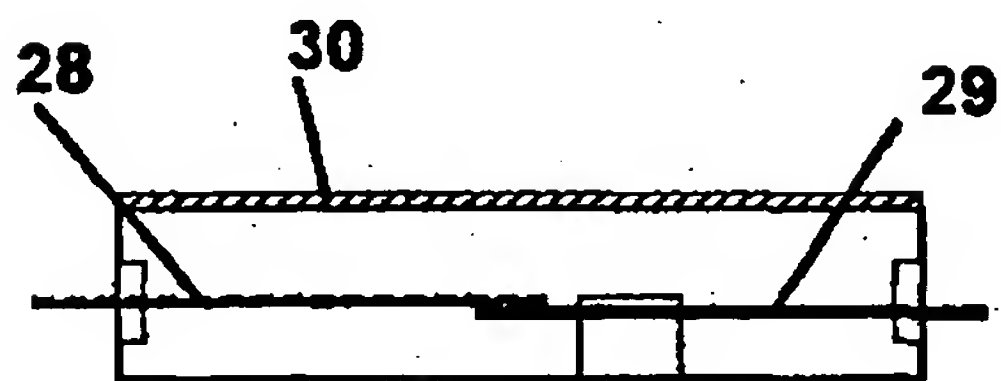


Fig. 5e-1

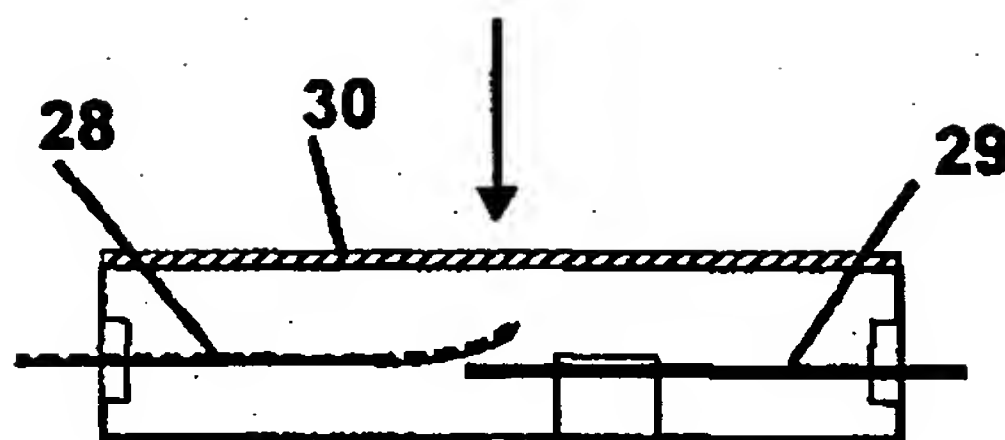


Fig. 5e-2

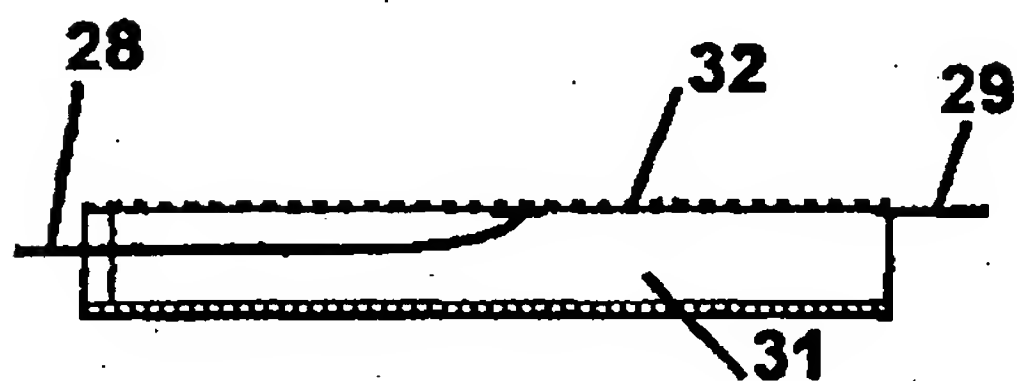


Fig. 5f-1

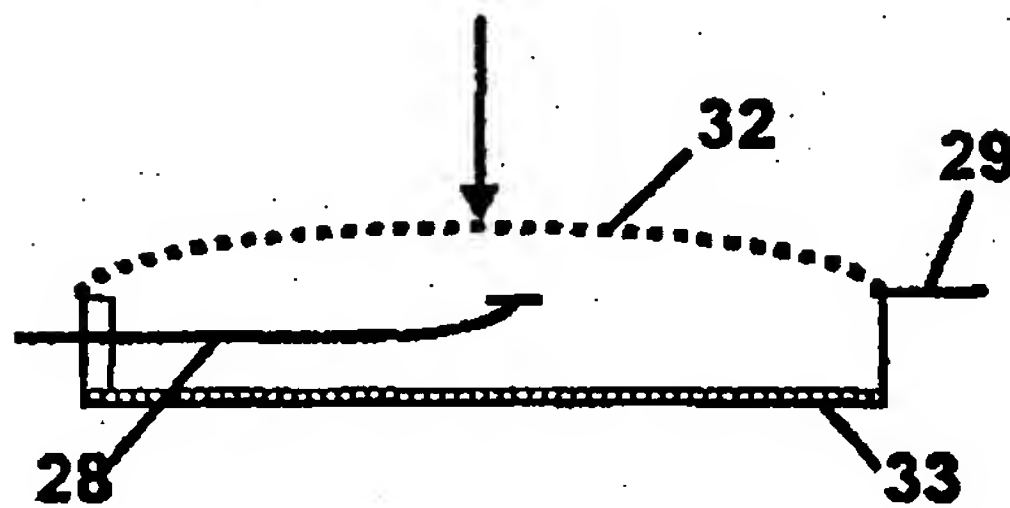


Fig. 5f-2